ポリイミド蓄熱層を用いた 16 dot/mm 感熱記録ヘッド開発*

永田 達也^{*1}, 渡邊 道弘^{*1}Sixteen dot/mm Thermal Printing Head
Using Polyimide Heat-Resistant Layer

Tatsuya NAGATA and Michihiro WATANABE

A high-efficiency thermal printing head with a resolution of 16 dot/mm has been developed. Print power efficiency was remarkably improved by using polyimide which has low thermal conductivity and high temperature stability, as a heat-resistant layer. The thickness of the polyimide layer was optimized to ensure both high efficiency and rapid cooling by temperature response analysis of the head using the finite-element method. Experiments show that the printing power for thermal paper decreased to half of that of conventional heads with glass glaze, and the pulse durability of the head exceeded 10^8 pulses within an electric resistance change of 10%.

Key Words: Heat Conduction, Finite-Element Method, Transient Response, Thermal Head, Polyimide, Durability

1. 緒 言

感熱紙を用いた感熱記録方式は、メンテナンスの容易さ、低コストの利点よりファクシミリ記録系に多く用いられている。この感熱記録方式では感熱記録ヘッドの抵抗体に通電発熱させて、プラテンローラにより押しつけた感熱紙を加熱発色させて記録画像を得る構成となっている(図1)。ファクシミリ装置では記録の高速化、高画質化および低電力化が求められており、感熱記録ヘッドのいっそうの高性能化が必要となっている。感熱記録系の記録性能は感熱記録ヘッドの熱応答、感熱紙と感熱記録ヘッドとの接触面圧、および感熱紙の発色特性に依存しており、これらの性能に影響を与える因子を考慮した性能予測手法を前報⁽¹⁾で報告した。感熱記録ヘッドの熱応答特性の検討で明らかになったのは、感熱記録ヘッドの表面温度がピークとなった時点で、すでに入力した熱の70%程度が蓄熱層の温度上昇に使用されており、感熱紙の加熱には有効に用いられていないということであった。そこで本論文では、この蓄熱層に注目し、熱伝導率が小さく、耐熱性に優れたポリイミドを蓄熱層に用いた場合の熱効

率の向上および信頼性を検討した。また同時に高画質化のために、記録密度 16 dot/mm の高精細感熱記録ヘッドを検討した。

従来の感熱記録ヘッドでは蓄熱層に陶器の上薬と同様の、ガラスグレーズを用いていた。ガラスグレーズは熱伝導率が小さい特性をもつほか、薄膜あるいは厚膜プロセスで感熱記録ヘッドを製作するときに必須となる優れた耐熱性と表面の平滑性をもっているため多用されている。厚膜形感熱記録ヘッドでは蓄熱層の上に 800°C 程度の高温のプロセスで抵抗体や保護層を形

図1 感熱記録性能に及ぼす因子

* 原稿受付 平成6年9月22日。

*¹ 正員, (株)日立製作所機械研究所(〒300 土浦市神立町502)。

成するために、熱分解温度が450°C程度のポリイミドを蓄熱層に用いることは不可能であるが、薄膜形感熱記録ヘッドでは膜の形成に低温のスパッタやCVDを用いるためポリイミドが使用できる可能性がある。さらに近年の感熱記録紙の感度の向上による記録電力の低減およびポリイミドの耐熱性の向上が実現性を高めており、プロセスを含めた信頼性が課題である。

本論文では蓄熱層にポリイミドを用いた感熱記録ヘッドの熱応答特性をFEMで検討し、その適正な厚さを求めた。この結果をもとにして、16 dot/mm 感熱記録ヘッドを試作し、従来の蓄熱層にガラスグレーズを用いた感熱記録ヘッドと、その記録特性および寿命特性を比較し、このポリイミド蓄熱層を用いた感熱記録ヘッドが優れた特性を示すことを明らかにした。ポリイミド蓄熱層を用いた感熱記録ヘッドでは線膨張係数の違いによる応力によりポリイミドや抵抗体に割れが生ずるため、応力緩和膜をポリイミドと抵抗体の間に設けた新構造を提案し、初めてその実現性を示した。

2. 感熱記録ヘッドの熱応答解析

2-1 感熱記録ヘッドの構造と解析モデル 感熱記録ヘッドの構造を図2に示す。感熱記録ヘッドは、アルミナ基板上に、蓄熱層、抵抗体、電極、保護層を順次積層およびパターンニングして形成したものである。抵抗体の密度は高精細化を図って16 dot/mmであり、62.5 μm ピッチに抵抗体が一列に配列されている。ここで検討した抵抗体のサイズは主走査方向(抵抗体配

列方向)が50 μm であり、副走査方向(紙送り方向)は120 μm である。蓄熱層にはポリイミドを用い、比較のために50 μm の厚さのガラスグレーズも検討した。抵抗体のサイズに対して十分に蓄熱層が薄ければ膜厚方向の一次元解析で温度予測が可能となるが、両者は同等の寸法であり、精度のよい温度予測には三次元解析⁽²⁾⁽³⁾が必須である。また抵抗体にはCr-Si-Oを、電極にはCrとAlを積層した構造を、保護層には厚さ4 μm の窒化けい素を用いている。

図2中に示した破線領域を三次元モデル化し、有限要素法による熱伝導解析に供した。このモデルは節点数が2520、要素数が1980であり、十分細かい分割を行っている。熱応答特性に最も影響の大きなポリイミド層の分割は抵抗体に近い側より2.5 μm が2層、5 μm が5層に分割した。この層はポリイミドの厚さによってアルミナに置き換え、メッシュ分割の寸法は変えていない。実際の感熱記録ヘッドでは、1ドットから1ラインの記録まで発熱条件が変わるが、中間調を面積階調で表現する場合等、1ドットを鮮明に記録することが重要である。ここでは感熱記録の基本となる1ドットの記録を例にとり検討を行った。対称条件より中央の発熱する抵抗体の1/4をモデル化している。図2には示していないが、感熱記録ヘッドの上に感熱紙が密着したモデルを用いている。連続記録時の基板温度上昇を防止するために、アルミナ基板下面を等温境界とし、他は断熱境界とした。アルミナ基板の厚さは実際には1 mm であるため、数十 ms の解析時間の範囲では等温境界としてさしつかえない。なお、感熱記録ヘッドと感熱紙の間の熱抵抗は考慮しておらず、また、感熱紙には紙を用い、融解潜熱をもつ発色層はモデル化していない。解析に用いた材料の熱的物性値を表1に示す。ポリイミドの熱伝導率は従来のガラスグレーズの約1/3であり、抵抗体の発熱時に加熱される熱抵抗層の距離は小さくなることが期待されるた

図2 16 dot/mm 感熱記録ヘッドの基本構造および熱解析領域

表1 解析に用いた材料の熱的物性値

Materials	Thermal conductivity (W/mK)	Specific heat (J/KgK)	Density ($\times 10^3 \text{ Kg/m}^3$)
Al_2O_3	29.30	779	3.8
Glass glaze	1.07	650	2.9
Polyimide	0.35	1150	1.4
Cr-Si-O	40.0	750	4.3
Al	238.6	917	2.7
Cr	69.1	461	7.2
Si_3N_4	18.38	733	2.3
Paper	0.12	599	0.7

図3 感熱記録ヘッド表面の熱応答特性に及ぼすポリイミド厚さの影響

図5 連続記録時の感熱記録ヘッド表面の熱応答特性

図4 ポリイミド厚さと温度の関係

め、熱効率の向上が期待できる。しかし、抵抗体からアルミナ基板への熱抵抗が大きくなると冷却が不十分となり、印画に尾引きが生じるおそれがあるため繰返し記録による蓄熱の効果も検討した。

発熱パルスの幅は1 msとし、発熱の繰返し周期(走査時間)を2 msとして、蓄熱の効果を解析で検討した。解析の時間ステップは0.2 msを用いた。実験ではこの周期を2~20 msとした。また、この間に実際の記録では感熱紙の搬送が行われるが、簡単のため解析では感熱紙の移動はモデル化していない。

2.2 熱伝導解析結果 図3に蓄熱層にポリイミドを用いた場合の感熱記録ヘッド表面の熱応答解析結果を示す。ここで、ポリイミドの厚さは5~40 μmまで変えた結果を示している。このとき抵抗体には0.1 W/dotの電力をパルス幅1 msで加えた。図3にあるように温度は急激に上昇し、ピーク温度に達した後冷却する。ポリイミド厚さが5 μmと薄い場合には温度

は時間とともに飽和する傾向を示し、ピーク温度は低いのに対して、ポリイミド厚さが25 μm以上では一定のピーク温度を示す。また冷却過程をみると、ポリイミド厚さが厚くなるほど冷却は遅くなる。ピーク温度に達する1 msと、冷却過程にある2 msおよび5 msにおける温度をまとめて図4に示す。ピーク温度はポリイミド厚さが厚くなるにしたがって高くなり、ポリイミド厚さが20~25 μm以上で飽和する。また冷却時の温度はポリイミド厚さが薄いほど低い。ポリイミド厚さの最適値はピーク温度が最高となる最も薄いポリイミド厚さと考えられる。そのため感熱記録ヘッドの試作ではポリイミド厚さ20 μmを目標に作製した。

パルス幅1 ms、記録周期2 msとした5パルス連続記録時の熱応答解析結果を図5に示す。蓄熱層のポリイミド厚さを20 μmとした場合と従来のガラスグレーズ50 μmを用いた場合とを比較している。1パルスめのピーク温度で比較するとポリイミドを用いた感熱記録ヘッドはガラスグレーズを用いた場合よりも1.4倍高い温度となり、熱効率が大幅に向上できることがわかった。またいずれの蓄熱層の場合もピーク温度は5パルスでほぼ飽和する傾向を示し、ポリイミドおよびガラスグレーズを用いたヘッドの5パルスめの温度は1パルスめの温度のそれぞれ113%および118%であった。このように熱伝導率の小さなポリイミドを用いてもその厚さを適正化することにより、蓄熱の効果は従来のガラスグレーズを用いた感熱記録ヘッドと大差ないレベルに制御できることがわかった。

3. 試作評価の結果

3.1 感熱記録ヘッドの製作 上記熱伝導解析の結果をもとに、図6に示す断面構造の16 dot/mm感

図 6 試作した感熱記録ヘッドの断面構造

熱記録ヘッドを試作した。構造は蓄熱層の部分以外は図2に示した構造と同一である。図6(a)は従来と同じガラスグレーズ50 μ mを平面状に形成したガラスグレーズヘッド、図6(b)はガラスグレーズ50 μ mを部分的に形成した部分グレーズヘッド、図6(c)はポリイミドを平面状の形成したポリイミドヘッドである。ポリイミド蓄熱層は、ワニス状のポリイミド前駆体をアルミナ基板上にスピコートし、ベークにより形成した。この1回の工程で約5 μ mの厚さのポリイミド層が形成できる。ポリイミド層を形成した後に、ガラスグレーズを用いた感熱記録ヘッドと同じ製造工程で感熱記録ヘッドを作成したところ、工程の途中でポリイミド、抵抗体および電極に割れが発生した。これはポリイミドと抵抗体および電極の線膨張係数のミスマッチにより発生した応力が原因と推定された。従来ポリイミドを用いた感熱記録ヘッドが実用化されていなかった一因にこのプロセスの問題が挙げられる。これを防止するためにポリイミド層の上に応力緩和層としてTa₂O₅を厚さ3 μ m形成し、応力を緩和させ割れを防止することができた。このように応力緩和層を形成した新構造により、はじめて実用になるポリイミドを蓄熱層に用いた感熱記録ヘッドが実現できた。評価に供した感熱記録ヘッドのポリイミド厚さは15 μ mと22 μ mの2種類である。

3.2 温度測定結果 試作した4種類の感熱記録ヘッドの熱応答特性を評価するために、赤外線温度計により温度を測定した(図7)。あらかじめホットプレートでサンプルを加熱し、放射率を求め0.75の値を得た。測定スポットサイズは35 μ mと抵抗体幅50 μ mよりも小さく、熱応答特性の比較には十分な分解能で

図 7 赤外線温度計による試作感熱記録ヘッドの温度測定

ある。加熱条件はパルス幅1 ms、加熱周期5 msとし、入力電力は0.1 W/dotとした。アルミナ基板温度を基準とした温度上昇でみると、ガラスグレーズヘッド、部分グレーズヘッド、ポリイミド厚さが15 μ mおよび22 μ mのポリイミドヘッドのピーク温度はそれぞれ、152、140、195°Cおよび209°Cであり、同一の入力電力に対してポリイミドヘッドのほうが30%以上高い温度が得られた。また冷却もガラスグレーズを用いた感熱記録ヘッドと同様であり、冷却特性を劣化させることなく大幅に熱効率を向上できることが確認された。

ガラスグレーズヘッドと比較すると感熱紙を密着させた解析のピーク温度は132°Cであり、感熱紙がない赤外線温度計による実測値は152°Cである。感熱記録ヘッドの上に感熱紙があると感熱紙がない場合と比較してピーク温度は約10%低くなる⁽⁴⁾ことを考慮すると、感熱紙がある場合のピーク温度を実測値より推定すると約137°Cと見積もられる。そのため解析誤差は4%程度であることがわかる。ポリイミドを用いた感熱記録ヘッドの結果も同様によく対応しており、この結果は先に示した熱伝導解析結果とよく一致していることがわかる。

3.3 記録特性 次に試作した感熱記録ヘッドの記録特性を同一の感熱紙を用いて測定した(図8)。ガラスグレーズと比較してポリイミドヘッドは入力電力に対する記録濃度の立上りが急こう配であり、均一な記録画質が得られる濃度 $D=1.2$ を得る入力電力も小

図 8 試作ヘッドの感熱紙への記録特性

さい。発熱周期を 2, 5, 10 ms および 20 ms 変えた結果より蓄熱の効果はいずれの感熱記録ヘッドでも大差がないことがわかる。この結果を濃度 $D=1.2$ を得る入力電力にまとめて図 9 に示す。ガラスグレースを用いた感熱記録ヘッドでは部分的にグレースを形成して感熱紙との接触を改善したヘッドのほうが、全面に形成した場合よりも熱効率が 30% 程度改善されている。一方、ポリイミドヘッドはさらに熱効率が改善されている。ポリイミド厚さ 22 μm の感熱記録ヘッドは平面状にガラスグレースを形成した場合と比較して 50% に入力電力を低減でき、また部分グレースヘッドと比較しても 70% に入力電力を低減できた。このようにポリイミドを蓄熱層に用いることにより、著しく熱効率を向上できることを確認した。

3・4 パルス寿命評価 感熱記録ヘッドの抵抗体は、記録時に 200~300°C 程度の高温になり、さらに抵抗体に流れる電流の電流密度は 1 cm^2 あたり $2 \times 10^5\text{ A}$ 程度の高い値となることから、エレクトロマイグレーションにより抵抗値が変動し、厳しい条件では抵抗体は破断に至る^{(4)~(6)}。そこで、ポリイミド厚さが 22 μm のポリイミドヘッドおよび比較のためにガラスグレースヘッドのパルス印加による寿命を調べた。初期

図 9 試作ヘッドの記録特性比較

図 10 ポリイミドヘッドの抵抗変化

図 11 パルス印加寿命特性比較

抵抗値が R_0 、抵抗変化後の抵抗値が R_1 のとき抵抗変化率 ΔR を $\Delta R = (R_1 - R_0)/R_0$ で表すと、ポリイミドヘッドにパルス印加したときのパルス数に対する抵抗変化率は図 10 に示すように変化する。抵抗値はパルス印加とともに増加し、その程度は入力電力が大きいほど大きくなる。抵抗値の変化率が 10% を超えると抵抗変化が不安定になり破断に至る傾向があるため、抵抗値変化率が 10% を超えた時点をも寿命とした。ここでは示さないが同様にガラスグレーズヘッドについても寿命を測定しまとめて図 11 に示す。寿命の対数と入力電力とはほぼ直線関係がある。同一の入力電力で比較するとポリイミド 22 μm のヘッドの寿命はガラスグレーズよりも小さいが、これはポリイミドヘッドのほうが高熱効率が高く同一入力電力では高温となることから理解できる。実際には、記録濃度 $D=1.2$ を得る電力の 1.4 倍程度の電力で寿命を満足すればよい。この 1.4 倍は抵抗値のばらつきに対する余裕度である。図 11 からわかるように十分な寿命である 1×10^8 パルスと比較すると、寿命限界の入力電力は記録電力の 2 倍あり、十分寿命を満足することがわかった。

4. 結 論

蓄熱層に熱伝導率の小さなポリイミドを用いた 16

dot/mm 感熱記録ヘッドの熱応答特性、記録特性および寿命特性を検討し以下の結論を得た。

(1) ポリイミド蓄熱層の厚さを適正值にすることにより、冷却特性を劣化させることなく大幅に熱効率を向上できる。ポリイミド蓄熱層を用いた場合には、入力電力は従来のガラスグレーズを用いた感熱記録ヘッドの 50% から 70% に低減できる。

(2) ポリイミド蓄熱層を用いた感熱記録ヘッドは製造プロセス中に割れが発生するが、ポリイミド蓄熱層の上に Ta_2O_5 層を設けることによりこの割れを防止できる。試作した感熱記録ヘッドの記録濃度 $D=1.2$ を得る条件でのパルス印加に対する寿命は、抵抗変化率 10% 以内で 1×10^8 パルス以上であり、十分に寿命を満足する。

(3) 抵抗体とポリイミドの間に応力緩和層を設けた新構造を用いることによって、ポリイミドを蓄熱層に用いた感熱記録ヘッドの実現性をはじめて明らかにした。

文 献

- (1) 永田・佐藤・渡邊, 感熱記録ヘッドの性能予測, 機論, 61-581, B(1995), 289.
- (2) Hirano, S., Ibata, K., Toyosawa, T. and Togawa, K., Three-Dimensional Thermal Conduction Analysis on Thick Film Thermal Head Using Finite Element Method, *Proc. Symp. Microelectron., ISHM '88*, (1988), 480.
- (3) 上西・杉村・柴田・岩瀬, 高精細化ファクシミリ用熱印字素子の検討, 電子通信学会論文誌, J63-C(1980), 303.
- (4) Nagata, T., Watanabe, M. and Hiratsuka, S., Reliability and Durability of Thin Film Thermal Printing Head, *Proc. Int. Symp. Microelectron., ISHM '87*, (1987), 207.
- (5) Sato, K., Nagata, T., Watanabe, M. and Nakayama, H., Failure Mechanism of Chromium-Silicon-Oxide Resistive Films Stressed by Electric Pulse Loading, *J. Mater. Sci.*, 28(1993), 2955.
- (6) 柴田・伊藤, 熱印字素子用ミランダ形発熱体の特性評価, 電子通信学会論文誌, J66-C(1983), 321.