薄膜抵抗体を用いた端末機用熱印字素子

仲矢 茂長*, 二瓶 公志*, 柴田 進*

Thermal Printing Head Using Thin Film

Shigehisa NAKAYA*, Koji NIHEI*, Susumu SHIBATA*

1. ま え が き

熱印字素子は感熱紙にドットのモザイクを作ることであり、絵、文字等を印字するもので、各ドットはパルス形状の電流によるジュール熱により発色する。各ドットの大きさは $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 位から $60\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ 位までである。抵抗体は感熱紙を発色するための発熱体に用いられる。

熱印字素子の特徴は

- (1)直接記録形であり、現像、定着などの後処理を必要とせず、印字機構が小形、軽量、低価格である。
- (2)取扱い操作性がよく、保守も容易である。
- (3)騒音、臭気、電気的雑音の発生がない。
- (4)熱印字素子は量産性に優れている。
- (5)記録紙は安価であり、普通紙並の感度である。

などである。

一方短所としては記録の保存性が、カーボンやトナー記録に比しやや劣る点があげられる。

熱印字素子は昭和40年代中期に 5×7 ドット形素子を用いたシリアルプリンタが出現して以来、特に我が国において改良が進み、印字の高速化、高分解能化、ヘッド耐久性の向上、大型ラインプリントヘッドの実現等が図られ、漢字を含む各種端末用プリンタ、ファクシミリ受信機など広範な分野で用いられている。

2. 熱印字素子と印字方式

2-1 熱印字素子の方式と構造

熱印字素子は発熱抵抗体の種類により薄膜形、厚膜形、半導体形の三つに分けられる。この中で半導体形はシリコンウェハをベースとし、拡散抵抗を発熱体とするものであるが、他と比べ性能的に劣るため、現在ではほとんど使用されていない。ここでは半導体形については除外し、主に薄膜形について述べる。

*沖電気工業(株)基盤技術研究所

(〒193 八王子市東浅川町550-5)

Laboratory Oki Electric Industry Co., Ltd,

(550-5, Higashi asakawa-cho Hachioji-shi 193)

薄膜形熱印字素子の発熱体基本構造図を図1¹⁾に示す。ベースは耐熱性があり、熱伝導率も比較的良好なアルミナセラミックが用いられる。熱絶縁層は熱効率および熱応答性を決める重要な働きをする。薄膜の場合は更に高い表面平滑度を、この層により得ており、薄膜、厚膜両方ともガラスが用いられる。

図1 角形状発熱体

図2 ガラス膜厚の効果

表1 絶縁体の熱特性

材料	熱特性 熱伝導度 J/cm·s·deg	比熱 J/g·deg	比重 g/cm ³
アルミナ	0.21	0.8	3.5
ガラス	0.0092	0.58	3.2
エポキシ樹脂	0.002	1.5	1

薄膜形の場合のガラス厚の効果をシミュレーションした結果を図2²⁾に示す。同じ電力を印加してもガラス厚が厚いほど、表面温度は高い。熱応答性はガラス層が厚くなるほど悪くなる。

このようにガラス厚は熱効率を上げるためには厚い方がよいが、熱応答性を良くする（印字速度と品質を上げる）には薄い方が好ましいので、通常30~100 μ mの範囲が選ばれる。

表1は保温層として考えられる材料として、アルミナ、ガラス、エポキシ樹脂等の熱特性をそれぞれ示す。

図3は、表1の材料を保温層として用いた場合の表面温度を計算により求めたものである³⁾。保温層の厚さは70 μ mとし、通電時間は5m secとした。保温層がアルミナの場合ほとんど温度があがらないこと、エポキシ樹脂を用いた場合、熱効率が著しく優れていることなどが

図3 各保温層における発熱体表面温度

明らかとなった。すなわち熱伝導率がよいと、熱の逃げが大きく、一定の温度を確保するのが困難である。

加熱時及び冷却時における熱印字素子の内部における熱的挙動は興味あるところである³⁾。

図4は加熱時における発熱部の内部の温度分布を示す。図5は発熱抵抗体への電力供給を停止してからの内部における温度分布で、停止後の時間をパラメータとして示してある。どちらも熱計算によるもので、保温層は50 μ mと仮定した。

発熱抵抗体として現在用いられている材料は、薄膜形ではTa₂N, Ta-Si, で最近Ta-Si-O, Cr-Si-Oなども発表されている。

発熱抵抗体は高温の熱パルスを受けるため、酸化による抵抗値変化が生じやすいと考えられる⁴⁾。図6はTa₂N発熱抵抗体の雰囲気または保護膜条件を変え、劣化の程度を見たもので保護膜がない場合、大気中においては小電力で劣化が進行する。アルゴン雰囲気中では劣化の進行する電力は大気中に比べて小さい。従って窒化タンタル薄膜の劣化機構には酸化現象が関与していると考えられる。SiO₂を2 μ m発熱体上に被着した試料は12W/mm²以上の電力に耐える。この値は保護膜のない場合の2倍以上であり、Ta₂O₅10 μ m付着させたものより大きい。酸素を遮断する保護膜には、SiO₂が適当と思われる。

熱印字素子で感熱紙に印字する時、素子は200g/mm²以上の力で感熱紙に押し付けられるため、表面は耐摩耗性のよい材料で覆う必要がある。耐摩耗層は紙との摩擦に対して強いだけでなく、下地との密着性が良い事が条件となる。種々の材料のうちTa₂O₅膜が最もすぐれている。他にSiC膜を使用しているところもあるが、耐熱衝撃性がいくぶん劣るようである⁴⁾。

厚膜方式の発熱抵抗体はRnO₂が主流である。

発熱体保護層の膜厚、熱伝導度と表面温度の関係を図7に示す²⁾。保護層の熱伝導度が大きいと表面温度と発熱体との温度差は小さくなるが、発熱体が一定の温度に達するまでに熱は保護層、保温層を通して横方向に逃げるため、必要な電力が大きくなり不経済である。熱伝導度が極めて小さいと表面温度が上昇しにくい、ガラスの2倍程度の熱伝導度を持つ材料でも、同一の電力を加えた場合、ガラスよりも低い温度上昇である。両者の温度の差に相当する熱量が、熱伝導度のよい保護膜では余分に横方向に拡散したものと思われる。

熱印字素子による印字では、パルス通電が終り、充分冷えてから、熱印字素子を次の印字のため動かせば問題はないが、印字速度を早くす

図4 加熱時におけるサーマルヘッド内部における温度分布 (印加電力 $8\text{W}/\text{mm}^2$)

図5 冷却時におけるサーマルヘッド内部における温度分布

図6 雰囲気および保護条件を変えた場合の Ta_2N 抵抗体の ステップストレス試験

図7 保護膜と電力効率 (各々の厚さの保護層に対して保温層としてのガラス膜厚40~100μmが対応する)

るためには、パルス通電が終って、出来るだけ早く動かしたいという要求がある。この場合、熱印字素子の表面温度が充分冷えないうちに動かすことになり、ドット印字に尾引き現象が発生する。尾引きは、印字品質からみると、字または絵がぼやけた感じとなり、大きく低下する。時定数が小さいほど、ガラス保温層が薄いほど、残留温度は小さくなるので、尾引きは小さくなる。4本/mmの熱印字素子で標準的な濃さで印字した時、パルス通電終了後6m secの残留温度を図8に示す⁹⁾。6m sec経過後はガラス膜厚100μm及び80μmでは200°C以上の残留温度があり、60μm及び40μmでは150°C以上である。残留温度からすると60μm以下が好ましい。残留温度は表面保護層の特性によっても大きく変る可能性があるので検討し、合わせて図8に示してある。保護膜を厚くすることは、逆行で好ましくないが、耐摩耗、耐酸化の機能が十分満たされれば、半減することは、大き

い意味があることがわかる。また熱伝導度を2倍にすると(厚さは10μm), 60μmではほとんど改善されず、40μmでは逆に悪くなっている。

この様に印字特性は保温層にもよるほか、保護膜にも依頼することがわかる。

現状の使用状況として薄膜形が印字品質、速度、電力、

図8 保護層効果による残留温度の違い
(6m sec後の温度)
(200 μm □ は一辺 200 μm の正方形)

効率、分解能、寿命等性能面で優位にあり主流となっている。厚膜形は製造上の有利さを生かし、低分解能、大形などの領域で使用されていくと思われる。

2-2 熱印字素子の種類

シリアルプリンタ形とラインプリンタ形の2種類に分けられる。シリアルプリンタ形は素子を横行させて文字を印字していくもので、マトリクス形と縦1列形がある。マトリクス形は5×7ドット構成で35個の発熱体が配列されている。縦1列形は文字の縦方向にn個並べてあり、nの数は7、9、18、24、37などが選ばれる。この場合印刷文字は5×7、7×9、16×18、24×24などのドット構成となる。外部回路との接続用端子は各発熱体から1本ずつ取り出される。

ラインプリンタ形印字素子は発熱抵抗体分解能が4～16ドット/mm^{3),6),7)}で、A6～B4版寸法のものが発表され、試作品としてA3版も作製されている。

ラインプリンタ形熱印字素子は通常駆動回路素子を発熱体基板上に搭載している。これは印字速度、外部回路との接続のためなされるもので、搭載素子は、シフトレジスタ、ラッチ、ドライバを持つIC、またはダイオードアレーなどである。

3. 熱印字素子の高精細印字化

熱印字素子が開発された当初の分解能は4ドット/mm程度であったが現在は8ドット/mmが主流である。高分解能となるに従い発熱体の基板上に並ぶピッチも細くならねばならない。また紙送り方向の発熱体長も短くならねばならない。

発熱抵抗体の大きさを変えて4m sec、2m secそれぞれ通电したときの印字電力を調べた⁵⁾のが図9である。4m sec 通电では ガラス膜厚が大きいときの方が発熱抵

図9 発熱抵抗体の大きさと印字電力
(表面温度を700°Cにするための印字電力)

図10 発熱抵抗体の大きさと温度分布
(Ex. 80 μm □ は一辺 80 μm の正方形)

抗体を小さくしたときの印字電力増加の割合が大きい。通电時間が2m secと短くなると、印字電力のガラス膜厚依拠性はなくなる。これは発熱抵抗体の大きさを変えても変わらない。

熱応答の速いガラス膜厚40 μmで、種々の大きさの発熱抵抗体に同一の電力密度を加えたときの表面温度分布を図10⁵⁾に示す。

通电時間6m secでは、発熱抵抗体の大きさと共に最高表面温度の低下が著しいが、2m sec 通电では低下の仕方が少なくなっている。通电時間6m secに比べ、2m secでは、発熱抵抗体に近い発熱パターンが得られるの

図11 発熱体部の平面および断面図

図12 発熱体表面の温度分布

で、表面温度分布の平坦な部は大きい。しかし発熱抵抗体の絶対的な大きさが小さくなると、表面温度分布における平坦な部が少なくなり、一辺150μmの正方形より小さくなると、平坦な部は全くなくなる。

発熱抵抗体が小さくなると、表面温度分布における平坦な部がなくなることにより、感熱紙との接触が均一であること、感熱紙の平滑さに対する要求は一層厳しくなると思われる。

他方発熱体の並ぶピッチが細くなると、発熱体の幅が短くなり、流れる電流が少なくなる。発熱体長も短くなり、このことは必要な電圧が低くなる結果となる。電流が少なくなる傾向は好ましいが、印加電圧が低くなりすぎると、配線回路との関係などで好ましくない。従って高精細化された発熱体ほど高い抵抗値を必要とし、また短かいパルス電力に耐えねばならない。

(1)発熱体の高抵抗化、(2)発熱体の耐熱衝撃性の向上、などを実現する方法として、発熱抵抗体形状を蛇行形とし、さらに給電用リード部を発熱部から離して形成するという方法を開発した⁹⁾。図11に発熱部の構造を示す。

図12は発熱抵抗体の表面温度分布である。従来の短形発

図13 発熱体電極間幅と相対印加電力

図14 連続印字寿命試験

熱体と比べ周辺温度が上昇しており、この分印加電力を下げるができるため、中心温度が下がり、さらに温度分布も比較的平坦になり破壊に対して強くなった。

蛇行形の他の効用として、抵抗値が短形の約50倍になるので、抵抗体の膜厚を厚くして耐酸化性を向上できた。発熱体幅等を、調節することにより、パルス幅1m secでの印字も可能である。

蛇行形発熱体のもう一つの大きな特長は、リード導体を発熱部から離れたことで、これによりプラテン（直径約20mm）が接触する部分に段差がなくなり、発熱部への紙の接触が完全になった。図13は一定濃度のときの発熱体電極間幅(L)と発熱部への必要印加電力の関係を求めたものである。図中曲線AはLが大きくなるに従い必要電力値が減る。すなわち紙への熱伝達効率が上昇していくことを示す。距離Lが約1mmまで改善効果が著しい。曲線Bは発熱部と非発熱部抵抗部の両方に印加される電力を求めたものである。Lが1mm以上になると急激に電力値が増す。これからLの値は1mm付近に最適値があることがわかる。

図14は、ここで得られた発熱体を用いて行なった寿命試験結果である⁹⁾。抵抗体は幅 $105\mu\text{m}$ 、長さ $230\mu\text{m}$ (有効長約 $200\mu\text{m}$)、抵抗値約 800Ω の試料である。試験条件はパルス幅 2.5m sec 、繰り返し 10msec 、初期濃度 $D=1.2$ とした。繰り返しが早いので蓄熱による濃度増加が早い時期に現われたが、入力制御は行わずそのまま試験を継続した。このような苛酷な条件で 10^8 回の印字が可能であった。この熱印字素子を用いて高速ファクシミリ (G3機) が製品化された。

図15は印加パルス幅と印加電力およびステップストレステストによる破壊電力の関係を求めたものである⁹⁾。印加パルス幅は短くなるにしたがい、破壊電力に対するマージンが減少する。従来の発熱体では、この破壊電力が低く印加電力の方は高いため、マージンが非常に少なくなり、高速での印字寿命が充分に得られなかった。図15においてパルス幅の繰り返し周期に着目すると、周期は短いほど必要電力は小さい。これは発熱部の蓄熱が印字濃度を高くするためで、この蓄熱を上手に利用すれば、さらに高速が可能となる。この場合印字の尾引き、にじみ等の品質の悪化を防止する制御技術が重要となる。これらの技術を使って 2m sec/line という非常に高速で、しかも印字品質のよい記録技術の開発に成功した¹⁰⁾。この時の寿命も 10^8 回を超えることを確認している。

以上は8ドット/mmの分解能を対象としたが蛇行形発熱体が一般的に使用されるには、広い範囲にわたる分解能の適用が望まれる。発熱抵抗体と、その発熱体間隔がおおの $10\mu\text{m}$ の発熱部を試作し、ステップストレス試験を行なった。結果は発熱部及びその間隔がほぼ $20\mu\text{m}$ の場合と同様の耐ステップストレス性を示した。

このことは発熱体及びその間隔が $10\sim 20\mu\text{m}$ の間で任意に選択可能なことを示し、蛇行部分の本数のみでなく、発熱体幅、間隔を変えることにより、広い範囲の分解能が設定できることを示している。

4. 熱印字素子の高速印字化

高速記録の方法として、発熱体に加えるパルス幅を短くする方法と多ドット同時印字の方法がある。

8ドット/mm、B4版印字用ヘッドでは発熱体数は8ドット/mm $\times$ 216mm=1.728ドットであり、これを32ドットずつ分割駆動すると52回にわけて1ラインを印字することになる。これを 10m sec/line で印字すると発熱

図15 印加パルス幅と印加電力

図16 発熱体と駆動回路 IC

体に加えられるパルス幅は $10\text{m sec}/54 \approx 0.2\text{m sec}$ となる。この極めて短かいパルス幅で印字駆動可能な発熱体を用いる方法以外に、多ドットを同時印字する方法がある。例えば、図16に示すように発熱体基板上に駆動回路を搭載する方法である⁷⁾。図16では、ICはシフトレジスタ、ラッチ、ドライバで構成された例である。

以上、薄膜抵抗体及び薄膜作製技術を用いた熱印字素子を中心に述べた。

図17 分解能 16ドット/mm サーマルヘッド印字幅 256mm
(写真スケールの単位は cm)

現在では、この技術により、16ドット/mmの超高分解能で高速印字可能な熱印字素子も開発されている⁷⁾。図17はその外観を示す。

文 献

- 1) 高野陸男, 松永光司, 上西勝三, 柴田 進; 窒化タンタル薄膜抵抗体を用いた熱印字素子, 電子通信学会論文誌, Vol. 58-C No. 5 (1975)
- 2) 上西勝三, 村杉圭司, 柴田 進; 熱解析によるファクシミリ用サーマルヘッドの印字性能の検討, 画像電子学会誌, Vol. 9, No. 1 (1980)
- 3) S. Shibata, K. Murasugi, K. Kaminishi: New Type Thermal Printing Head Using Thin Film, IEEE Trans. PHP-12 No. 3 (Sept. 1976)
- 4) 真下正夫; 薄膜サーマルヘッドの寿命推定に関する一考察, 画像電子学会 80-07-1 (1981)
- 5) 上西勝三, 村杉圭司, 柴田 進, 岩淵俊之; 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, Vol. 63-C, No. 5 (1980)
- 6) 斎藤 隆; 高速ファクシミリ用サーマルヘッド, 電子通信学会論文誌, Vol. J 65-C, No. 10 (1982)
- 7) 柴田 進, 仲田威昭, 北川 享, 伊藤正信他; B4版 16ドット/mm サーマルヘッドの開発, 昭和58年度電子通信学会全国大会 (予定)
- 8) 石橋則男, 柴田 進; 超高速感熱記録方式の開発, 沖電気研究開発第112号 Vol. 47, No. 3 (1981)
- 9) 村杉圭司; ファクシミリ用サーマルヘッド, 沖電気研究開発第110号 Vol. 47, No. 1 (1980)
- 10) K. Saito K. Nakano, K. Murasugi, T. Iwabuchi; High speed thermal recording, SID Sym. Digest of Tech. Paper (1979)