

印刷技術を用いた厚膜ヒータの作製及び設計

的場彰成* 豊田丈紫** 奥谷潤*

センサへの利用を想定した低コストな厚膜ヒータの開発を目的として、ナノオーダーのニッケル(Ni)とクロム(Cr)粒子を含み、導電性ガラスフリットを結着材として使用した印刷用抵抗体ペーストを作製した。印刷用抵抗体ペーストの導電性ガラスフリットの含有率を変えることで、厚膜ヒータの抵抗率を5桁まで調整可能であると確認した。導電性ガラスフリット含有率95%の厚膜ヒータにおいて、電圧90 Vを印加した時、30 sで115℃まで到達することを確認した。次に、更なる温度上昇が可能な厚膜ヒータの設計をシミュレーションにより実施した。その結果、印刷用抵抗体ペーストから、電圧100 V以下、電流1 A以下で230℃を10 s以内に到達可能な厚膜ヒータを設計可能であると示した。

キーワード:導電性ガラスフリット, NiCr, ヒータ, スクリーン印刷

Fabrication and Design of Thick-Film Heaters Using Printing Technology

Akinari MATOBA, Takeshi TOYODA and Jun OKUTANI

For the purpose of developing a low-cost thick-film heater for sensors, we developed a printing resistance paste containing nano-order nickel (Ni) and chromium (Cr) particles using conductive glass frit as a binding material. It was confirmed that the resistivity of a thick-film heater can be adjusted by up to five orders of magnitude by changing the content of the conductive glass frit in the printing resistance paste. It was confirmed that a thick-film heater with a conductive glass frit content of 95% reached 115°C in 30 seconds when a voltage of 90V was applied. Next, we simulated the design of a thick-film heater capable of increasing the temperature further. As a result, it was shown that it is possible to design a thick-film heater that can reach 230°C within 10 seconds at a voltage of 100V or less and a current of 1A or less using the printing resistance paste.

Keywords: conductive glass frit, NiCr, heater, screen printing

1. 緒 言

近年、IoT技術の普及に伴い、様々な情報を得るためのセンサの開発が必要とされてきている。センサには、動作可能な温度に制御するためのヒータが用いられているものがある。例えば、流量センサや半導体ガスセンサは、精度や動作感度を維持するため、ヒータが設けられている。このセンサに内蔵されるヒータには、周辺に影響を与えず、局部箇所の短時間応答による温度制御に優れたプリントエレクトロニクス(印刷技術)が利用されている¹⁾。印刷技術で一般に利用されるヒータ材料としては、酸化ルテニウム(RuO₂)や銀(Ag)などが知られており、センサへの用途以外に、プリンタのトナー定着や半導体製造用ステージの温度制御にも使用されている。しかし、RuO₂やAgは材料コ

ストが高く、RuO₂は熱処理温度800℃以上と、製造コストも高く、熱処理温度の低温化が望まれている²⁾。これに対して、ニクロム(NiCr)は、先の材料よりコストが安価である。さらに、温度による抵抗変化が小さい、酸化に強い、加工が容易などの特徴がある。そのため、NiCrは、電熱線などのヒータ材料として古くから使われてきたが、印刷技術で利用可能なペースト化が困難であるため、微小なヒータが求められるセンサへの利用はされてこなかった。

当场では、これまでNi及びCr金属錯体を用いたナノオーダーのNi, Crにより、電子機器向けの印刷用抵抗体ペーストを開発してきた³⁾。その際、印刷用抵抗体ペーストから作製したヒータにおいて、加熱によるNi, Crの酸化が課題であることがわかっている。一方で、酸化に強い導電性ガラスフリットを結着材とした熱電変換モジュールを開発してきた⁴⁾。そこで本研究では、

*電子情報部 **化学食品部

酸化に強い導電性ガラスフリットを結着材として利用したナノオーダーのNi, Crを含む印刷用抵抗体ペーストを作製し、センサとして利用が想定される100℃以上加熱が可能な厚膜ヒータを目指した。

2. 印刷用抵抗体ペーストの作製と評価

導電性ガラスフリットの含有率によって、厚膜ヒータの抵抗率は大きく変化すると予想した。そこで、導電性ガラスフリットの含有率を変えた厚膜ヒータを作製し、抵抗率の導電性ガラスフリット含有率依存性を調べた。

ナノオーダーのNiCr金属粉末(Ni:Cr=8:2)に結着材として粉末化した導電性ガラスフリット(20BaO・10Fe₂O₃・WO₃・70V₂O₅)を混合した。ガラス含有率30wt.%, 50wt.%, 70wt.%, 95wt.%とした混合物6gに対して、それぞれ20wt.%のアラビアゴム水溶液割合71.4%で調整した。さらに、0.1 mlのグリセリンを加え、自転・公転式ミキサー(ARE-310・(株)シンキー製)に投入し、2000 rpmで10 min混合処理して印刷用抵抗体ペーストを作製した。

セラミック基板上に印刷用抵抗体ペーストを5 mm×25 mm×厚さ100 μmのパターンでスクリーン印刷した。印刷した印刷用抵抗体ペーストを500℃で1 h焼成し、厚膜ヒータを作製した。図1に厚膜ヒータの抵抗率の導電性ガラスフリット含有率依存性を示す。開発した印刷用抵抗体ペーストを用いて作製した厚膜ヒータでは、導電性ガラスフリット含有率を30%~95%まで調整することで、抵抗率を $1.7 \times 10^{-2} \Omega\text{m} \sim 5.8 \times 10^3 \Omega\text{m}$ の範囲で変化させることが可能であると示した。

次に、作製した厚膜ヒータに電圧を印加したときの厚膜ヒータ中心の基板裏側の温度を測定した。最も抵抗率が低い導電性ガラスフリット含有率95wt.%の厚膜ヒータに電圧90 Vを印加した時の厚膜ヒータの温度の時間依存性を図2に示す。電圧印加後、30 sで115℃に到達することを確認した。

以上の結果から、導電性ガラスフリットを結着材として利用し、ナノオーダーのNi, Crを含む厚膜ヒータにおいて、電圧印加による100℃以上の温度上昇を確認した。厚膜ヒータをセンサとして利用できる可能性があると示した。

3. 厚膜ヒータの設計

作製した印刷用抵抗体ペーストを用いて、センサ以

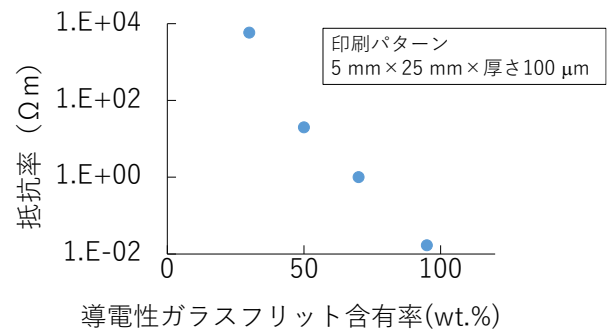


図1 厚膜ヒータの抵抗率の導電性ガラスフリット含有率依存性

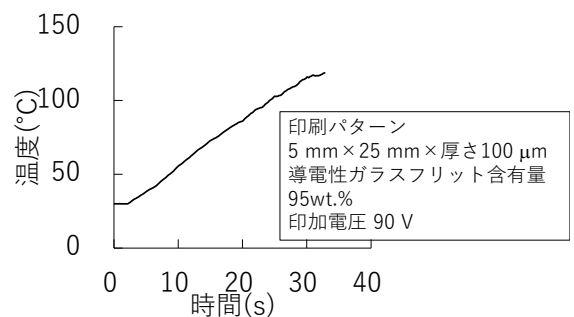


図2 厚膜ヒータの温度の時間依存性

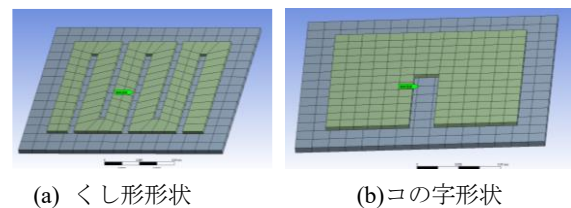


図3 解析パターン

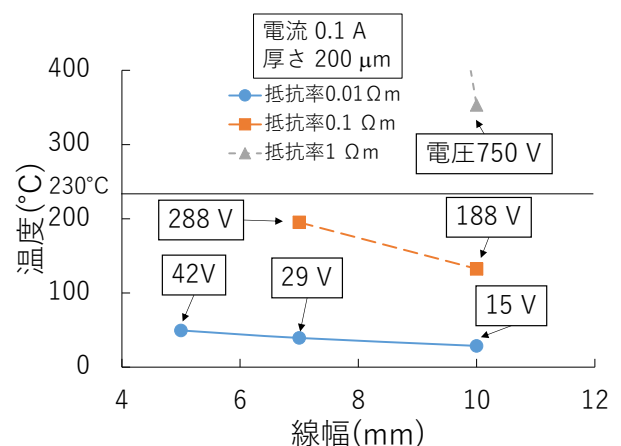


図4 厚膜ヒータの温度の線幅依存性のシミュレーション解析結果

外の用途を想定した更なる温度上昇が可能な厚膜ヒータの作製が可能か検討した。その際、目的となる加熱温度を達成するためには、パターン設計が重要であると予想された。そこで本章では、プリンタのトナー定着に必要とされる温度（230℃、10 s以内で到達可能）を目標として、シミュレーションソフトを用いて30 mm×30 mm以内の面積での厚膜ヒータの設計を試みた。

厚膜ヒータの条件の算出には、汎用有限要素解析ソフトウェア(ANSYS ver.19.2)を用いた。解析条件として、厚膜ヒータパターンのサイズを一般的にスクリーン印刷で印刷可能な範囲(膜厚500 μm以下、線幅0.1 mm以上)とし、電圧及び電流は、家庭用電源で利用可能な100 V以下、1 A以下とした。以上の条件において、線幅及び電流値に対して、230℃、10 s以内到達が可能な厚膜ヒータを設計した。

まずは、ヒータパターンについて検討した。図3(a), (b)に、くし形及びコの字形のヒータパターンをそれぞれ示す。これらのパターンにおいて、膜厚500 μm、抵抗率0.2 Ωmとしたとき、230℃、10 s以内で到達可能な電圧を解析した結果、くし形形状で1463 V、コの字形形状で270 Vがそれぞれ必要であることがわかった。電圧100 V以下を達成するには、線幅を広くし、なおかつ線の長さを短くすることで、ヒータの抵抗を小さくする必要があるとわかった。一方で、直線形状の場合、熱が電極側に流れることで、十分に発熱しないことが考えられる。そこで、コの字のパターンの厚膜ヒータについて検討した。

次に、コの字型の厚膜ヒータにおいて、電流0.1 A時の厚膜ヒータ中心の基板裏側の温度の線幅依存性のシミュレーション解析結果を図4に示す。電流0.1 Aにおいて、線幅を細くし、なおかつ抵抗率を増加させることで、230℃を達成可能であるが、100 V以上の電圧が必要となった。そこで、厚膜ヒータの線幅を大きくし、抵抗率を下げることで電圧を下げ、電流を増加させる方法を検討した。

図5に、厚膜ヒータの抵抗を下げるために、膜厚500 μm、線幅10 mmとしたときの厚膜ヒータ中心の基板裏側の温度の電流依存性のシミュレーション結果を示す。その結果、電流0.57 A、抵抗率0.02 Ωmにおいて、電圧100 V以下で230℃を達成できることがわかった。

厚さ500 μm、線幅10 mm、抵抗率0.02 Ωmでのコの字形の厚膜ヒータの温度分布を図6(a)に、時間に対する中心の基板裏側の温度の時間変化の解析結果を図6(b)に示

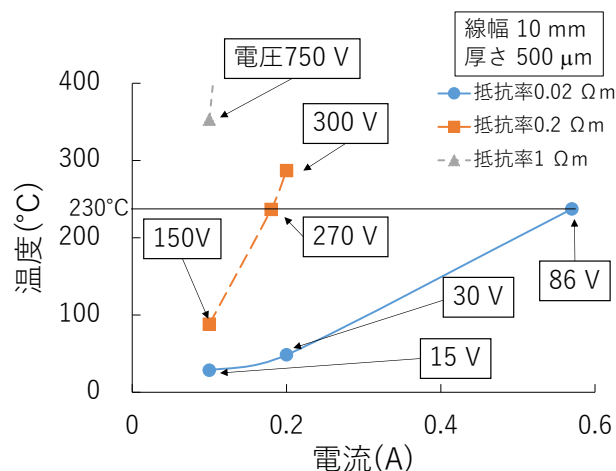
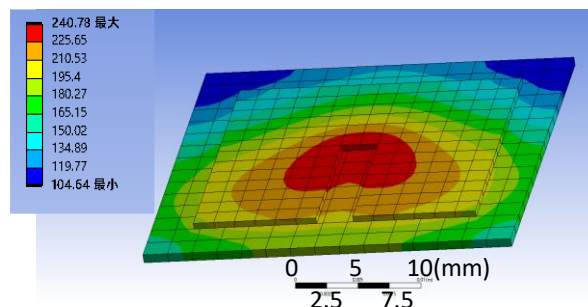
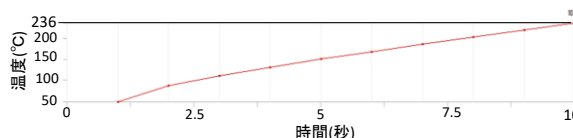


図5 厚膜ヒータの温度の電流依存性のシミュレーション解析結果



(a) 温度分布



(b) 時間に対する中心の基板裏側の温度の時間変化

図6 厚膜ヒータ(膜厚500 μm、線幅10 mm)のシミュレーション解析結果

す。この条件において、電圧86 V、電流0.57 Aで230℃を10 s以内で到達可能であるとの結果が得られた。以上の結果から、シミュレーション解析により、プリンタのトナー定着を想定した厚膜ヒータの設計が可能であると示した。

4. 結 言

本研究では、厚膜ヒータとしての利用が期待できる導電性ガラスフリットとナノオーダーのNi, Crを含む印刷用抵抗ペーストを作製した。作製した印刷用抵抗ペーストをスクリーン印刷し、厚膜ヒータを作製した。さらに、厚膜ヒータをシミュレーションにより設計し、以下の結果を得た。

- (1) 導電性ガラスフリット含有率を30%~95%まで調整することで、厚膜ヒータの抵抗率を5桁変化させることが可能であると示した。5 mm×25 mm×厚さ100 μmのパターンかつ導電性ガラスフリット含有率95%の厚膜ヒータにおいて、電圧90 Vを印加した時、115°Cに30 sで到達すると示した。
- (2) プリントナー定着用ヒータへの利用を想定して、シミュレーション解析によりヒータパターンを設計した。厚さ500 μm, 幅10 mm, 抵抗率0.02 Ωmの抵抗を下げたコの字形状の厚膜ヒータにおいて、

電圧100 V以下、電流1 A以下で、プリントナー定着用ヒータで求められる230°C, 10 s以内を到達可能と示した。

参考文献

- 1) 牛島洋史, 日下靖之, 野村健一, 山本典孝. エレクトロニクスデバイスを刷る~プリントドエレクトロニクスのプロセス技術~. 化学工学. 2014, no. 78, p770-773.
- 2) 菅沼克昭. プリントドエレクトロニクス技術最前線. シーエムシー出版. 2010, p. 121-139.
- 3) 的場彰成, 奥谷潤, 筒口善央. “印刷技術による抵抗体の作製と焼成温度の低温化”. 石川県工業試験場報告, 2016, No66, p.21-24.
- 4) 豊田丈紫, 佐々木直哉, 嶋田一裕. “ナノ粒子複合インクを用いた熱電変換モジュールの開発”. 石川県工業試験場報告, 2013, No62, p.5-8.