

# 銅配線への磁性体膜形成

電子デバイス技術課 角田龍則、坂井雄一

## 1. 緒言

現在、電子部品は常に小型化・軽量化を求められており、その解決策として駆動周波数の高周波化が進んでいる。さらに近年は、急速な充放電に対応するため高出力での動作が求められるようになっており、高出力駆動では抵抗を小さくし、エネルギー損失を減らすことが重要な課題となっている。特に、100kHz以上の周波数帯では、表皮効果による抵抗増加が顕著となり、リッツ線のように細い銅配線を複数配置する工夫がされている。さらに磁性体をメッキするなどの工夫がされている。しかし、小型化のために銅配線を近づけることで、抵抗増加の要因である近接効果を増大させてしまうことがわかっている<sup>2)</sup>。そこで本研究では、ガラエポ基板上の銅配線に塗布法で磁性体膜形成し、交流抵抗を抑制できないか検討した。

## 2. 磁性体粉末と樹脂の混合膜作製

アクリル樹脂(加熱硬化、UV硬化)、エポキシ、ポリイミドとMn-Zn系フェライトを1:3の割合で混合し、遊星式攪拌機で攪拌混合した。得られたペーストをガラエポ基板に塗布し、それぞれの樹脂硬化温度で真空硬化した後、その断面を観察した。図1は研磨後のそれぞれの断面を、表1は樹脂膜の観察結果を示す。

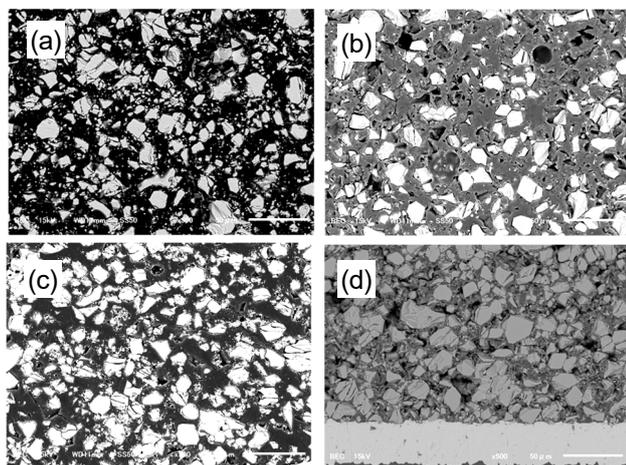


Fig. 1 COMPO images of the resin films (a) acrylic, (b) UV curing type acrylic, (c) epoxy and (d) polyimide

Table 1 Characteristics of the resin films

	アクリル	アクリル(UV)	エポキシ	ポリイミド
配合比	1:3	1:3	1:4	1:3
充填率	41%	24%	42%	61%
空孔部	1%	9%	1%	5%

色の薄い箇所がフェライト粉末、濃い箇所が樹脂、黒い箇所が空孔である。断面観察の結果から、充填率が大きく空孔部が少ないアクリル樹脂を使用して試作を進めることとした。

## 3 銅配線の作製

次に、リング状の銅配線を作製した。銅張ガラエポ基板上にスクリーン印刷で、複数のリングが接続されたエッチングレジストを形成した。その後、銅箔をエッチング液に浸漬しレジストを除去して、リング状の銅配線を作成できた。図2はエッチング後の銅配線である。ライン&スペース0.3mmが12ターン、0.4mmが9ターンのリング状銅配線を形成できた。リード線を接続した後、周波数特性を測定した結果、それぞれ1kHzのインピーダンス平均値(標準偏差)は、2.4Ω,(0.25)、1.3Ω,(0.08)であった。

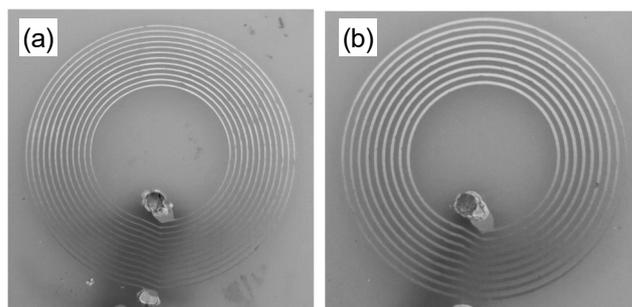


Fig. 2 The copper wiring on a glass epoxy board (a) L/S 0.3mm (b) L/S 0.4mm

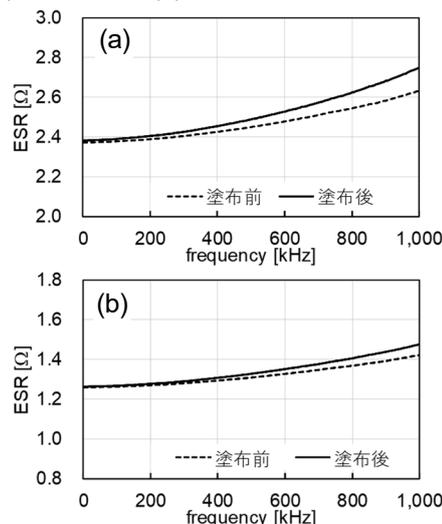


Fig. 3 The frequency response of copper wiring (a) L/S 0.3mm (b) L/S 0.4mm

上記の銅配線に、ハンドコーターにより磁性体粉末と

樹脂の混合ペーストを塗布した。樹脂硬化後リード線を接続し、インピーダンスアナライザで周波数特性を評価した。図3は膜形成前後の周波数特性を示したグラフである。混合膜塗布前後で、等価直列抵抗 ESR (1MHz)は、約数%増加する結果となった。

#### 4. シミュレーションによる等価直列抵抗増加の要因調査

断面が円形の導体周囲に発生する磁界は、導体を中心として同心円状に分布する。しかし、今回の試料のような断面が横長のリング状の導体においては、電流密度が偏り磁界も歪んだ状態で発生することが予想される。そこでリング状導体の電流密度と磁界についてシミュレーションを実施した。

図4はリング状の導体が同一面に3つ並んだ場合の、電流密度と磁界の分布シミュレーション結果である。リング状の導体は中心側(図4左)の円周が短いため、抵抗値が小さくなり、中心側の電流密度が大きくなる。そのため図4の磁界分布のとおり、磁界もリングの中心側が強められる傾向がある。この歪んだ磁界分布が磁性体粉末の影響で増加し、導体と交差することで発生した渦電流により、等価直列抵抗が増加したと考えられる。

#### 5. 結言

本研究では、銅損増加を抑制するため、銅配線上に磁性体粉末含有樹脂膜を形成し、交流抵抗の低減を試みた。L/S 0.3mm と 0.4mm のリング状の銅配線を作製し、磁性体粉末含有樹脂を塗布した後、周波数特性を評価したところ、目的に反して交流抵抗が数%増加した。シミュレーションの結果から、交流抵抗増加の原因は、リング状の導体で発生する電流密度分布偏りであることが推察できた。

キーワード：磁性体粉末、円状銅配線、近接効果

### The Magnetic Film Formation to the Copper Wiring

Electronics and Device Technology Section; Tatsunori KAKUDA and Yuuichi SAKAI

Now, switching power supply is adopted to various electronic equipment. In recent years, the demand of downsizing and thinning for switching power supply becomes strong, and the shape of coil is the factor to obstruct it. Therefore, the multi-layer substrate transformer having a high switching frequency is developed for the purpose of downsizing and thinning.

The purpose of this study is to reduce AC resistance (or ESR) for reduction of copper loss. The copper wiring was formed into ring type conductor, and the L/S were 0.3mm and 0.4mm pitch. The copper wiring substrate was coated with resin containing manganese zinc ferrite. As shown by simulation, the cause of the AC resistance increase was deflection of the current density distribution.

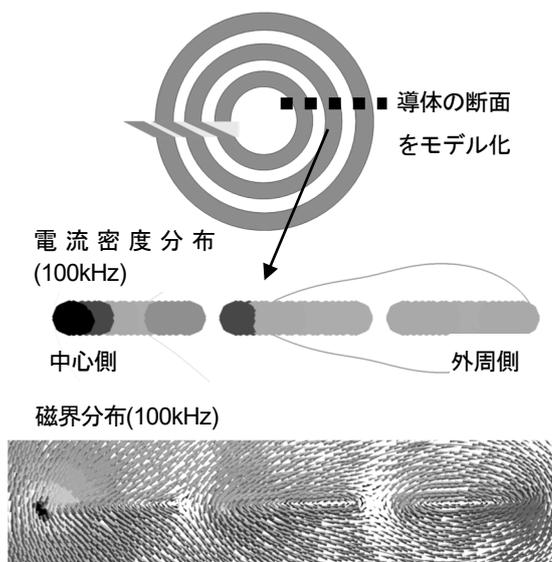


Fig. 4 The electric current density and the magnetic field of ring type conductor wiring

#### 参考文献

- 1) T.Mizuno *et al.* :IEEJ Trans. FM, Vol.127, No.10, 611(2007)
- 2) 角田龍則他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, 36, (2022) 94