

高温超伝導 SQUID による磁気インクの評価に関する研究

Study on evaluation of magnetic ink by HTS SQUID

豊橋技科大, °千葉 洸生, 大谷 剛義, 田中 三郎

Toyohashi Univ. of Technol. °H. Chiba, T. Ohtani, and S. Tanaka

E-mail: tanakas@tut.jp

1. はじめに

現在、デジタル画像再現技術の発展に伴い、紙幣や重要書類などの偽造の危険がある。紙幣などの偽造防止、真偽の判定に磁気インクが用いられているが、より偽造を困難にするために単層カーボンナノチューブ(SWCNT)と鉄ナノ粒子を用いた新たな磁気インクが提案されている。SWCNTを分散したインクは微細なパターンを高精細に印刷でき、導電性に優れた材料として注目されている。

超常磁性を示す鉄ナノ粒子を含む SWCNT ベースのインクは磁気インクとして使用できる可能性があり、高温超伝導 dc-SQUID(磁気センサ)を用いて SWCNT ベースのインクサンプル 4 種類の磁気測定を行い、磁気特性を評価した。

2. 実験方法

4 種類の異なる印刷用紙(Type 1~4) に濃度の等しいインクが印刷されたサンプルを用意した。4 種類の印刷用紙は、Type 1: メンブレンフィルター(孔径 0.45 μm)、Type 2: メンブレンフィルター(孔径 0.8 μm)、Type 3: オフィス用紙、Type 4: フォト用紙を用いた。それぞれの電気抵抗を測定した後、幅 4 mm、長さ 7 mm で切り出し、ラミネートフィルムで挟んで磁気測定を行った。インクに含まれる鉄ナノ粒子は超常磁性を示すため、磁化応答の測定は磁場中で行う必要がある。対向した励磁用コイルの間に SQUID を配置し、SQUID 表面に平行に 2.4 mT/ μ_0 の直流磁場を印加した。インクサンプルをナイロン糸にテープで固定し、磁場中を搬送して測定を行った。インクサンプルから SQUID 表面までの距離を 1.2 mm に設定し、83 mm/s の速さでインクサンプルを搬送した。SQUID の出力信号は、ローパスフィルタ($f_c = 20 \text{ Hz}$)、バンドエリミネーションフィルタ($f_0 = 60 \text{ Hz}$)を通して高周波ノイズを除去し、DAQ および PC で取得した。

3. 実験結果

検出したインクサンプルの磁化応答の時間波形を Fig.1 に示す。各インクサンプルの磁化応答の大きさの違いは、鉄ナノ粒子間の磁気的な相互作用に起因すると考えられる。この仮定を検証するため、インクサンプルのコンダクタンスと磁化応答の相関を確認した。各インクサンプルのコンダクタンスを Table.1 に示す。コンダクタンスが大きいほど、磁化応答が大きくなっていることがわかる。コンダクタンスと磁化の相関が実証されたことから上記予想が裏付けられた。コンダクタンスの大きさの違いは印刷用紙の表面性状によるインクの転移性に起因すると示唆された。

Table.1 Ink sample conductance

Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
5.93 μS	1.76 μS	0.04 μS	29.0 μS

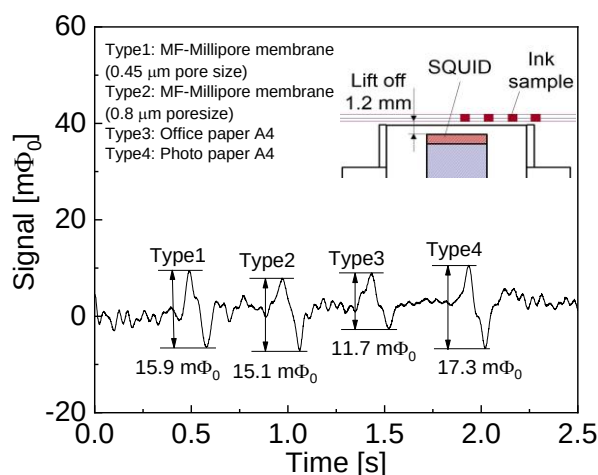


Fig.1 Magnetization response of ink sample.

4. まとめ

高温超伝導 dc-SQUID 磁気センサを用いて、鉄ナノ粒子を含む SWCNT ベースのインクサンプル 4 種類の磁性を評価した。コンダクタンスと磁化の相関が実証され、磁化応答の大きさは鉄ナノ粒子間の磁気的な相互作用に起因することがわかった。