

磁性ナノ粒子膜による SQUID インダクタンス増大効果の理論的検討

Theoretical study on increase in SQUID inductance by magnetic nanoparticle films

名大院工 ○赤池 宏之, 伊藤 大, 谷口 壮耶, 奥村 崇之, 藤巻 朗

Nagoya Univ., °H. Akaike, H. Ito, S. Taniguchi, T. Okumura, A. Fujimaki

E-mail: akaike@nuee.nagoya-u.ac.jp

はじめに 超伝導デバイスに磁性材料を組み込むことは、超伝導デバイスの高性能化・高機能化につながる。磁性材料の高透磁率に着目すると、デバイスの自己インダクタンスや磁気結合係数を増加させ、残留磁化の観点からは超伝導磁性メモリが可能となる。我々はこれまでに、磁性ナノ粒子(NPs)に着目し、 Fe_3O_4 NPs を超伝導量子干渉計(SQUID)上に配置し、閾値特性の変化を評価してきた[1]-[2]。その結果、SQUID 上に NP 膜を形成した時、SQUID インダクタンスが NP 膜厚に対して線形に増加することが観測されていた。今回、この特性について、理論的検討を行ったので報告する。

実験結果 評価に用いた NP 膜付ワッシャー型 SQUID の断面構造を Fig.1 に示す。この SQUID は Nb 接合プロセスを用いて作製した。NP 膜は、市販の Fe_3O_4 (平均粒径 5 nm) の NP 溶液のトルエン溶媒を蒸発させて形成した。SQUID ループに制御電流 I_{cl} を流すことにより得た閾値特性をもとに SQUID インダクタンスを見積り、NP 膜による増加分をプロットしたものを Fig.2 に示す。NP 膜厚に対してほぼ線形に増加していることがわかる。

理論的検討 NP 膜による効果を見積もる際には、 I_{cl} による SQUID ワッシャー近傍の磁場の大きさ及び NPs のモデル化が必要となる。磁場の見積もりには、ワッシャー幅を持つ 2 平行線路を用い、各線路には電流が均一に分布するとした。NP 膜のモデルとして、絶縁性母材と球状 NPs からなるグラニューラ膜を仮定し、NP 膜の実効比透磁率 μ_{eff} の見積もりは、有効媒質理論[3]による次式を用いた。

$$q(\mu_i - \mu_{\text{eff}}) / (\mu_i + 2\mu_{\text{eff}}) + (1 - q)(\mu_m - \mu_{\text{eff}}) / (\mu_m + 2\mu_{\text{eff}}) = 0$$

ここで、 μ_i 及び μ_m はそれぞれ、NPs 及び母材の比透磁率である。 q は、NP の堆積充填率である。本検討の場合、NPs は球状であるため反磁場を考慮し $\mu_i = 3$ 、母材は $\mu_m = 1$ 、また、NP 膜形成条件を考慮し $q = 69\%$ とした。その結果、 $\mu_{\text{eff}} = 2.2$ を得た。磁場の計算結果を用いて、インダクタンス増加分を見積もった結果を Fig.2 に示す。膜厚に対して線形に増加することが確認でき、実験結果を定性的に説明することが可能といえる。図中には、比較のため、 $\mu_{\text{eff}} = 3$ の場合も示したが、実験結果と比較的良好一致を示した。

謝辞 本研究は、科学研究費基盤研究(B) (課題番号 22360124)、ALCA によって支援されている。

文献 [1] 第57 回応用物理学関係連合講演会 赤池他 20a-P15-12

[2] 第72 回応用物理学会学術講演会 矢野他 31p-ZM-10

[3] A. Berthault et. al., J. Magn. Magn. Matter. **112** (1992) 477.

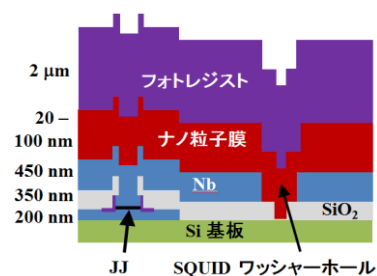


Fig. 1. Device structure of a SQUID with a nanoparticle film.

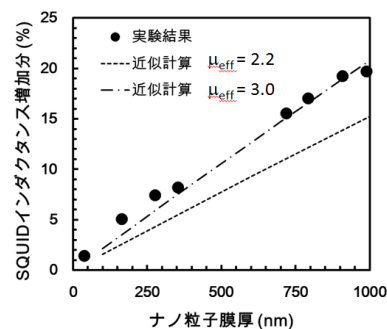


Fig. 2. Increase in SQUID inductance versus thickness of nanoparticle film.