

ダイヤモンド量子センサを用いた磁場イメージングによる金属微粒子の検出

Magnetic field imaging and detection of metal particles

using diamond quantum sensor

東工大¹, [○]屋敷 祐貴¹, 水野 皓介¹, 波多野 雄治¹, 岩崎 孝之¹, 波多野 睦子¹

Tokyo Tech¹,

[○]Yuki Yashiki¹, Kosuke Mizuno¹, Yuji Hatano¹, Takayuki Iwasaki¹, Mutsuko Hatano¹

E-mail: yashiki.y.ab@m.titech.ac.jp

リチウムイオン電池の安全性を低下させる原因に金属異物（鉄・SUS・銅・ニッケル等）の混入があり、製造プロセスでの管理が重要である。現在、X線透過イメージングにより異物を迅速に検出することが可能である^[1]。より微小な粒径 10 μm 以下の金属異物の検出方法が求められており、さらに内部の計測が求められている。本研究ではダイヤモンド中の NV センタを用いた量子センサによるリチウム電池の金属異物の検査を目的とし、磁場イメージングにより微小鉄粒子の検出を行った。

ダイヤモンドセンサは IIa (100) 基板にイオン注入法により NV センタ薄膜を形成した（イオン種 N, 加速電圧 350 keV, 照射量 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, ポストアニール 30 分 700°C）。NV センタの平均深さは約 450 nm である。基板の $\langle 111 \rangle$ 方向に静磁場を印加し、CCD カメラで測定した ODMR スペクトルについて、各点での局所的な静磁場の大きさを算出し磁気画像を得ることができる。測定対象としてダイヤモンド基板上に平均粒径約 3 μm の鉄粒子を散布した。鉄粒子の近傍では粒子が持つ磁気モーメントによって磁場が変化するため、磁気画像から粒子の位置を特定することができる^[2]。

図 1(a) に明視野像、図 1(b) に得られた磁気画像（静磁場 16 mT, 計測時間 100 sec）を示す。明視野像で見られる黒点と同じ位置に双極子状の磁場分布が見られることから、磁場イメージングにより鉄粒子を検出できたといえる。このような双極子磁場は鉄粒子がもつ磁化に起因している。鉄粒子は軟磁性を呈すると仮定し、上記の実験条件下で NV センタが感じる磁場の大きさをシミュレートした結果を図 1(c) に示す。求められた磁場の大きさが実験値と一致していることから磁場分布が双極子となるモデルは妥当だといえる。

実験で得られた磁気画像と磁場分布のモデルを比較することで、センサから粒子までの距離を求めることも可能だと考えられる。電池の内部に存在する粒子を考え、センサから離れた粒子の検出を行う場合、磁場強度は距離の 3 乗に反比例するためより高い感度が必要である。粒径 3 μm の鉄粒子を 1 秒間で測定するために必要となる磁気感度を図 2 に示す。例えば深さ 100 μm の内部にある粒子を考えると 20 nT/Hz^{1/2} の感度が必要である。今後は測定器の高感度化により深部粒子の検出を目指す。

本研究は MEXT Q-LEAP, CAO PRISM の支援を受けて行われました。ダイヤモンド試料の作製にご協力いただいた産総研 牧野俊晴博士に感謝いたします。

[1] 佐藤恒郎・的場吉毅, 日立評論 **98**, 05, 362 (2016).

[2] Y. Hatano *et al.*, *Phys. Status Solidi A* **215**, 22, 1800254 (2018).

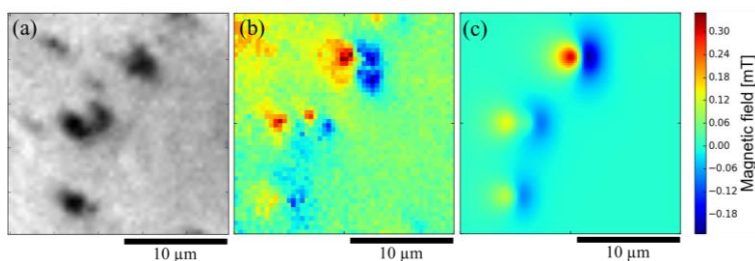


Fig. 1. (a) Bright field image. (b) Magnetic field image of Fe particles. (c) Simulation result of the magnetic image.

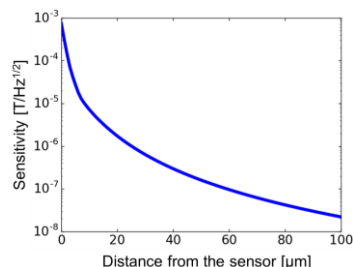


Fig. 2. Required sensitivity as a function of distance from the sensor.