

超常磁性 Fe_3O_4 ナノ微粒子-ポリマーコンポジット格子からの 低速中性子ビーム回折の観測

Observation of slow-neutron beam diffraction from a superparamagnetic Fe_3O_4 nanoparticle-polymer composite grating

○ 富田 康生,¹ 磯 由布子,¹ 影山 明久,¹ J. Klepp,² C. Pruner,³ M. Fally²

¹ 電気通信大, ² ウィーン大, ³ ザルツブルグ大

○ Y. Tomita,¹ Y. Iso,¹ A. Kageyama,¹ J. Klepp,² C. Pruner,³ and M. Fally²

¹Univ. of Electro-Commun., ²Univ. of Vienna, ³Univ. of Salzburg

1. はじめに

フォトポリマーへナノ微粒子を高濃度分散した光重合性ナノ微粒子-ポリマーコンポジット (NPC)¹ ではホログラフィックナノ微粒子アセンブリー² により多次元フォトニック格子構造を単一ステップで形成でき、ホログラフィー応用や非線形光学及び中性子光学への応用が可能となる。^{1,3-5} 本報告は中性子磁気モーメントと物質中の磁場との相互作用を用いて低速 (冷・極冷) 中性子ビームのスピンの制御 (スピン偏極分離/変調) を NPC 格子からの Bragg 回折により実現することを目的に、前回報告した⁶ 超常磁性ナノ微粒子を分散した NPC 格子の特性を大幅に改善することで NPC 格子からの低速中性子ビーム回折を観測できたので報告する。

2. 原理と実験結果

磁性ナノ微粒子分散 NPC 格子の中性子屈折率変調振幅 Δn_{neu} は中性子波長 λ_{neu} 、磁性ナノ微粒子 (ポリマー) の中性子コヒーレント散乱長 $b_{cm}(b_{cp})$ と磁気的散乱長 b_{Mm} 、磁性ナノ微粒子 (ポリマー) の原子数密度 $\rho_m(\rho_p)$ ならびに磁性ナノ微粒子の体積分率変調振幅 Δf_m を用いると次式で与えられる。^{1,7}

$$\Delta n_{neu} = \frac{\lambda_{neu}^2 \Delta f_m [b_{cp} \rho_p - (b_{cm} + b_{Mm}) \rho_m]}{2\pi}.$$

ここで、 b_{Mm} は次式で与えられる。⁷

$$b_{Mm} = -\frac{m_{neu}}{2\pi\hbar^2\rho_m} \boldsymbol{\mu} \cdot \boldsymbol{B},$$

上式中の $\boldsymbol{\mu}$ は中性子磁気双極子モーメント、 $\boldsymbol{B}$ は磁性ナノ微粒子中の磁場、 m_{neu} は中性子質量である。従って、回折効率が $\boldsymbol{B}$ と $\boldsymbol{\mu}$ (スピンアップ・ダウン) の相対方向に依存するため低速中性子ビームのスピン偏極分離/変調やスピン干渉計の実現が可能となる。

実験ではアクリルモノマーブレンド、表面処理を施した Fe_3O_4 ナノ微粒子 (粒径 3nm) ゾル、

光重合開始剤の混合溶液をスペーサーを装荷したガラス基板へ滴下し、溶媒除去のための乾燥処理後に他のガラス基板でカバーをして NPC 試料とした。次に、緑色レーザー (532nm) によるホログラフィック露光で透過型 NPC 格子 (格子間隔 $1\mu\text{m}$ 、膜厚 $26\mu\text{m}$) を記録した。Fig.1(a) に NPC 格子 (ナノ微粒子分散濃度 3.8 vol.%) に対するプローブ光 (633nm) での屈折率変調振幅 (Δn_{light}) の記録動特性を示す。飽和時の Δn_{light} と $\Delta f_m (\propto \Delta n_{neu})$ は前回の報告⁶ に比べて約 3 倍の値が得られた。Fig.1(b) に低速中性子ビーム (4.5nm) での回折効率 (磁場無印加時) の入射角依存性を示す。NPC 格子無傾斜時でも ± 1 次回折ビームに対して Bragg 角 ($\sim \pm 0.2^\circ$) で最大約 6% の回折効率が得られた。

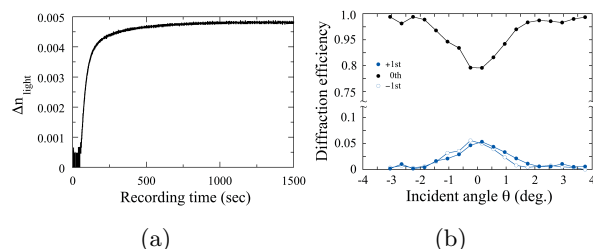


Fig. 1: (a) Buildup dynamics of Δn_{light} probed at 633 nm. (b) Incident-angle dependences of the diffraction efficiencies for the 0th- and ± 1 st-order diffracted signals probed at 4.5 nm.

参考文献

- [1] Y. Tomita *et al.*, J. Mod. Opt. **63**, S1 (2016).
- [2] Y. Tomita *et al.*, Opt. Lett. **30**, 839 (2005).
- [3] Y. Tomita *et al.*, Opt. Lett. **41**, 1281 (2016)
- [4] X. Liu *et al.*, Opt. Express **20**, 13457 (2012).
- [5] M. Fally *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 123904 (2010); J. Klepp *et al.*, Phys. Rev. A **84**, 013621 (2011); J. Klepp *et al.*, Appl. Phys. Lett. **100**, 214104 (2012); *ibid.* **101**, 154104 (2012).
- [6] 富田 他、第 65 回応用物理学春季学術講演会 講演予稿集 17p-B203-1 (2018).
- [7] J. Klepp *et al.*, Materials **5**, 2788 (2012).