

極性制御の熱力学

Thermodynamics for the orientation control of micro-domains

分子研 °佐藤 庸一, 平等 拓範

Inst. Mol. Sci., °Yoichi Sato, Takunori Taira

E-mail: yoichi@ims.ac.jp

【緒言】 光学媒質中においてマイクロドメインを形成・制御する技術が実現されたことにより、光学デバイスに様々な機能を付加することが可能となった[1-4]。マイクロドメイン構造制御と総称されるこれらの技術は、いずれもマイクロドメイン n に対して様々な示強変数（温度 T 、応力 σ_{ij} 、電場 $\mathbf{E}$ 、磁場 $\mathbf{B}$ 等）を変化させることでギブスエネルギーを変化させ、ギブスエネルギーが最低となる光学材料の状態を実現するものである。本報告では様々な外場を与えた場合におけるギブスエネルギーの変化について解説し、光学デバイスにおける結晶方位制御についての様々な実例を紹介する。特に、我々が取り組んでいる配向制御された異方性レーザーセラミックスを例に、熱力学的な観点からどこまで具体的にプロセス設計が可能であるかを示す。

【原理】 マイクロドメイン k のギブスエネルギー変化 dG_n は

$$dG_n = -S_n dT + V_n \mu_n dn_n - V_n \gamma_g d\left(\frac{1}{r_n}\right) - V_n \sum_{ij} \varepsilon_{ij} d\sigma_{ij} - \mathbf{P}_n \cdot d\mathbf{E} - \mathbf{M}_n \cdot d\mathbf{B} \quad (1)$$

と与えられる[5]。但し V_n 、 r_n 、 S_n 、 μ_n 、 n_n 、 $\mathbf{P}_n$ および $\mathbf{M}_n$ はマイクロドメイン n における体積、直径、エントロピー、化学ポテンシャル、分子数密度、分極および磁化であり、また γ_g および ε_{ij} はドメイン間の単位面積当たりの境界エネルギーおよび歪テンソルである。(1)式の第一項および第二項は相変化による制御駆動力、第三項はドメイン間の相互作用を表し、第四~六項が応力 σ_{ij} 、電場 $\mathbf{E}$ 、磁場 $\mathbf{B}$ による制御駆動力を示す。図 1 で示される通りドメインにはギブスエネルギーの角度微分に相当する回転トルクがかかり、配向制御が行われる。

【応用】 異方性セラミックレーザーにおける磁気配向制御では、光学活性元素である希土類イオンのスピン-軌道相互作用による磁気異方性増大効果が非常に重要な役割を果たしている。非磁性体をホストとしている異方性レーザーセラミックスの製造プロセスにおいて、磁場による配向駆動力がどのように生じ、またスラリーのブラウン運動による揺動が結晶配向にどのような影響を与えるか、さらに理想的にはどの程度までの配向制御が可能であるか、その原理を非平衡系熱力学の手法を用いて構築した。なお、本研究の一部は(株)コンポン研究所の助成を受けて行われたものである。

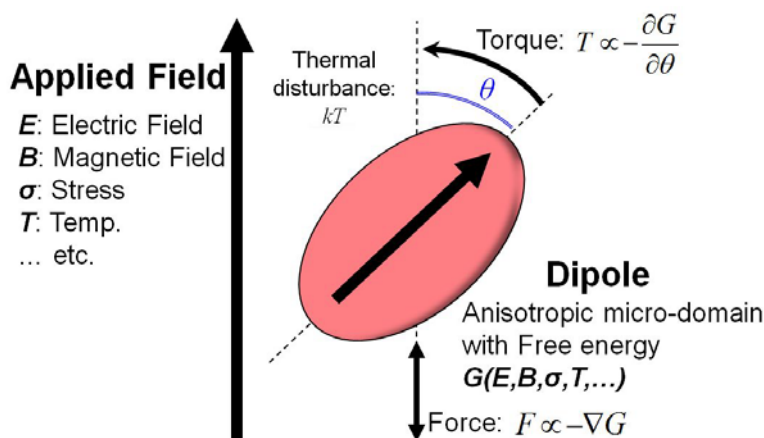


図 1 外場印加によりマイクロドメインに働く回転トルクおよび並進力

- [1] I. Shoji et al., Appl. Phys. Lett. **77**, 939 (2000).
 [3] H. Ishizuki et al., Appl. Phys. Lett. **82**, 4062 (2003).
 [5] Y. Sato et al., Opt. Mater. Express **3**, 829 (2013).

- [2] M. Harada et al., J. Materi. Res. **19**, 969 (2004).
 [4] J. Akiyama et al., Appl. Phys. Express **4**, 022703 (2011)