

アゾポリマー薄膜における光誘起表面レリーフ形成の偏光依存性 Polarization dependence of photoinduced surface relief formation in azopolymer film

宇大院工¹, 宇大 CORE², 産総研電子光技術³, ○ 茨田 大輔^{1,2,3}, 福田 隆史³

Grad. Sch. Eng., Utsunomiya Univ.¹, CORE, Utsunomiya Univ.², AIST³, Daisuke Barada^{1,2,3},
Takashi Fukuda³

E-mail: barada@cc.utsunomiya-u.ac.jp

アゾポリマー薄膜に光を照射すると、光の電場分布に応じてレリーフができることが知られている。実験で観察される大きな特徴として、光強度の強い領域から弱い領域へ偏光方位に沿って物質移動が起ることによって、レリーフが形成されているように見える。その特徴を説明するために、電磁気学的な力を駆動力としたモデル [1]、分子の異方性拡散モデル [2] などが提案されてきた。前者は、駆動力の記述が不十分であり、特徴を部分的にしか説明することができなかった。また、後者は、アゾベンゼンのトランス・シス光異性化サイクルを考慮したモデルであるが数値計算を用いないと特徴を説明することが難しい。本研究では、駆動力をより正確に記述し、光電場分布から容易にレリーフ形状を予測可能にすることを目的とする。一例として、二光束干渉縞照射の偏光依存性が説明できることを確認する。

駆動力として、光照射による分極電荷と分極電流が光電磁場から受けるローレンツ力密度の時間平均を考える。全電磁場を E, H とすると、電磁場に応じて時間変化する分極電荷密度と分極電流密度は、

$$\rho_p = \varepsilon_0 \nabla \cdot \text{Re}(E) \quad (1)$$

$$j_p = \nabla \times \text{Re}(H) \quad (2)$$

と書ける。ここで、 ε_0 は真空の誘電率である。 ρ_p と j_p は物質に依存しないように見えるが、電磁場分布は物質表面による反射・屈折を考慮したものをを用いるため、電磁場分布が物質に依存している。よって、ローレンツ力密度は、

$$f = \varepsilon_0 [\nabla \cdot \text{Re}(E)] \text{Re}(E) + \mu_0 [\nabla \times \text{Re}(H)] \times \text{Re}(H) \quad (3)$$

と書ける。これは時間的に振動するが、時間平均をとって実効的な力を求めると、

$$\langle f \rangle = \text{Re} \left[\frac{\varepsilon_0}{2} (\nabla \cdot E) E^* + \frac{\mu_0}{2} (\nabla \times H) \times H^* \right] \quad (4)$$

となる。光配向の緩和時間が短く屈折率が一樣とすると、第一項は表面でのみ働く張力となる。この張力を無視し、薄膜中での力を考えると、

$$\langle f \rangle = \frac{\mu_0}{4} [(\nabla \times H) \times H^* + (\nabla \times H^*) \times H] = \frac{\mu_0}{4} \{2\text{Re}[(H \cdot \nabla) H^*] - \nabla |H|^2\} \quad (5)$$

となる。

ここで、二光束を二つの平面波で表現し、入射面を x - z 面とすると、 p 偏光の場合は、磁場は y 成分のみになり、 s 偏光の場合は磁場は x 成分、 z 成分をもつ。よって、 p 偏光の場合、駆動力は、

$$\langle f \rangle = -\frac{\mu_0}{4} \nabla |H|^2 \quad (6)$$

となる。よって、磁場強度の勾配に比例することがわかる。また、磁場強度の強い領域から弱い領域に向かって力が働くことがわかる。次に s 偏光の場合を考えると、

$$\langle f \rangle = \frac{\mu_0}{2} \text{Re} \left(H_x \frac{\partial H_z^* e_z}{\partial x} + H_z \frac{\partial H_x^* e_x}{\partial z} \right) \quad (7)$$

となる。よって、二光束の交差角が小さいときには、式 (6) に比べて無視できる大きさになり、実験事実を容易に説明できる。

本研究の一部は JSPS 科研費 26288114 の助成により行われた。

[1] D. Barada *et al.*, J. Appl. Phys. **96**, 4204 (2004).

[2] D. Bin *et al.*, Sci. Rep. **5**, 14654 (2015).