

単一分子の3次元配向観測法の提案

(阪大院基礎工) 橋本 守・山田 一 亮・荒木 勉

【緒言】 単一分子の遷移双極子モーメントを μ 、入射する電場を \mathbf{E} とすると、その励起確率は $|\mu \cdot \mathbf{E}|^2$ に比例する。Fig.1 (a) に示すように、直線偏光を集光した場合焦点付近では面内方向しか電場が存在しないため、光軸に沿った方向に配向した分子を励起、すなわち観測することはできない。しかし、Fig. 1(b) に示すように Radially Polarized Beam [1] と呼ばれる放射状の偏光を持つ光を集光すると、その焦点においては光軸方向にのみ電場を形成することができ、光軸方向に配向した分子も励起することができる。[2] 本研究では、液晶空間変調素子 (SLM) を用いて光軸方向に電場を形成する手法の提案と、これらを用いて、単一蛍光分子を観測したときに得られる信号についてシミュレーションを行った。

【提案手法】 Non-twisted ネマチック液晶は、一軸性結晶のように振る舞い、直交した2偏光に対して位相差を与えることができる。したがって、SLMによって任意の場所で直交した2偏光に対して任意の位相差を与えることができる。ただし、印可電圧に対して位相が変化するのは一方の軸に対してのみであり、この軸を a 軸、制御できない軸を b 軸とする。Fig. 2 に示すように、直線偏光を入射し、2枚の SLM を 45度傾けて配置し、その後 1/4λ 板を通した場合、得られる偏光は

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \frac{\pi}{4} & \sin \frac{\pi}{4} \\ -\sin \frac{\pi}{4} & \cos \frac{\pi}{4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-i\xi} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \frac{\pi}{4} & -\sin \frac{\pi}{4} \\ \sin \frac{\pi}{4} & \cos \frac{\pi}{4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-i\eta} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{-i(\xi+\eta)} + e^{-i\eta} \\ e^{-i(\xi+\eta-\frac{\pi}{2})} + e^{-i(\eta+\frac{\pi}{2})} \end{pmatrix} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 η は一枚目の SLM 位相差を、 ξ は二枚目の SLM の位相差を表す。方位角が ϕ の位置での位相差を $\xi = 2\phi, \eta = 2\pi - \phi$ とした場合、(1) 式は $\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{pmatrix}$ となり、Radially Polarized Beam を形成することができる。また、 $\eta = 0, \xi = 0$ の時は x 軸方向の直線偏光を、 $\eta = 0, \xi = \pi$ の時には y 軸方向の直線偏光を与えることができる。したがって、2枚の SLM によって、焦点で x, y, z の各軸に向けた偏光を形成することができる。図 1 (a) は直線偏光を入射した場合の焦点での電場分布を示し、(b) は Radially Polarized Beam を入射した場合の電場分布を示す。右図は A-A' 面、B-B' 面での偏光分布を表す。

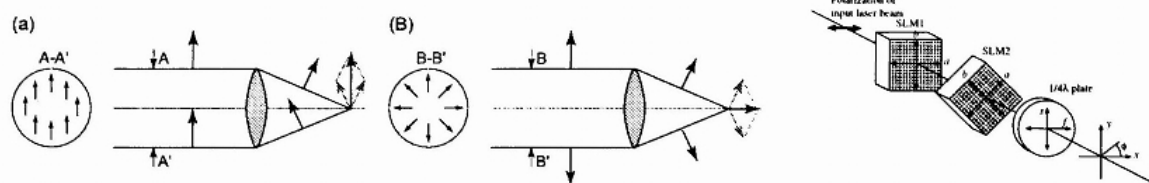


図 1 直線偏光を入射した場合 (a) と Radially Polarized Beam (b) を入射した場合に、焦点で形成される電場。右図は A-A' 面、B-B' 面での偏光分布を表す。

図 2 提案する光学系の配置図 a, b は液晶空間位相変調器の軸, s, f は 1/4λ 板の軸を表す

【分子配向検出シミュレーション】 焦点に単一分子を置き、Fig. 3 に示すような光学系で観測した場合の検出器面での蛍光強度分布を Fig. 4 に示す。なお、吸収と発光の遷移モーメントは同一であると仮定し、 θ_m は光軸と分子の遷移モーメントがなす角、 ϕ_m は、光軸に垂直な面内での分子の遷移モーメントと x 軸がなす角を表している。また、同じ θ_m, ϕ_m にある3枚の図は左から x (x 軸方向の直線偏光), y (y 軸方向の直線偏光), z (Radially Polarized Beam) を励起光としたときの強度分布をそれぞれ表している。これから、分子の3次元配向を決定することが可能であることが分かった。

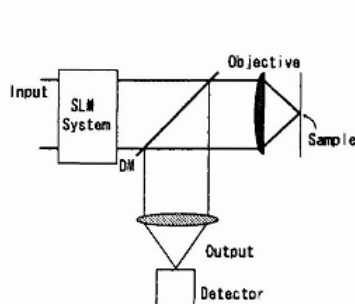


図 3 観測光学システム

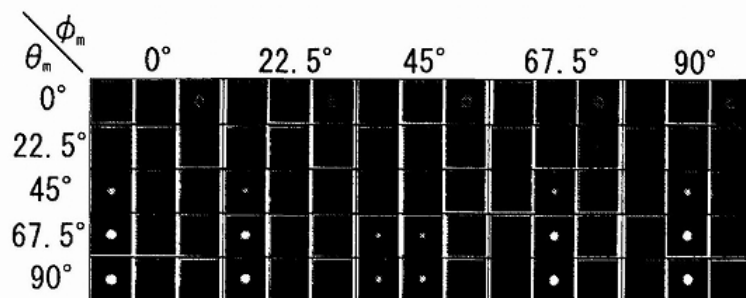


図 4 検出器面での蛍光強度分布

参考文献

- [1] K. S. Youngworth and T. G. Brown, Opt. Express 7, 77-87 (2000).
- [2] L. Novotny, M. R. Beversluis, K. S. Youngworth and T. G. Brown, Phy. Rev. Lett. 86, 5251-5254 (2001).