21 January, 2022
The 100 Anniversary Hall (Faculty of Engineering)
Kumamoto University

直線偏光発光からの偏光変換による高純度円偏光の生成

京都大学大学院エネルギー科学研究科
国際先端エネルギー科学研究教育センター
岡崎 豊
okazaki.yutaka.8c@kyoto-u.ac.jp

光の強度や波長だけでなく、位相や振動ベクトルの方向まで巧みに制御して得られる「円偏光」は、太陽電池の変換効率向上[1,2]や植物の育成速度向上[3]などの可視光域における円偏光照射効果が近年注目を集めている。太陽光などの非偏光を高純度円偏光に変換する技術は、脱炭素社会の実現に向けて欠かせない技術の一つといえる。非偏光を円偏光に変換する方法は、フィルター方式、選択反射方式、円偏光発光方式に大別される。これまで我々の研究チームでは、効果的な円偏光生成法の創出を志向して、キラルな分子集合体から様々なアキラルな色素（単原子イオン[4]、無機分子[5]、有機分子[5,6]、ナノ粒子[7]など）への円二色性（CD）および円偏光発光性（CPL）の誘起に関する研究を進めてきた。しかしながら、円偏光純度と光強度の両方を高い水準で満たすことは容易ではなく、未だ当該研究領域における課題とされている。そこで近年我々は、キラルなシステムを一切用いずに高輝度かつ高純度円偏光を生成する、新規かつ汎用的アプローチの研究を進めてきた[8]。本発表では、直線偏光発光性（LPL）フィルムと位相差板の組合せにより、高輝度かつ高純度の円偏光を生成する手法について紹介する。

本研究では、LPL 光源として CdSe/CdS コアシェル量子ロッド（QRs）を選定した。ホットインジェクション法により合成した QRs の toluene 分散液は、365 nm の紫外光照射下で橙色の強い発光を示した。透過型電子顕微鏡（TEM）観察より、平均長さが 30 nm、平均幅が約 4.5 nm の均一なロッド状ナノ構造体が得られたことを確認した（Figure 1a）。QRs/toluene 分散液を poly(ethylene-co-vinyl acetate) (EVA)/toluene 溶液と混合した後、キャスト法にて QRs/EVA 複合フィルムを作製し、得られた複合フィルムを一軸延伸することにより、QRs/EVA 延伸フィルムを作製した。直線偏光子を用いて延伸フィルムの発光を観察したところ、偏光軸が延伸方向と並行の時に明るく垂直の時に暗いことを、肉眼で確認できるほど顕著な差がみられた（Figure 1c）。蛍光分光計を用いた偏光度の定量評価より、大きな偏光因子（$P = (I_{//} - I_{\perp})/(I_{//} + I_{\perp}) = 0.64$）を示すことがわかった（Figure 1b）。この QRs/EVA 延伸フィルムの延伸軸に対して$\lambda/4$ 位相差板の fast 軸が 45 °になるように重ね、$\lambda/4$ 位相差板を通過した発光を左および右円偏光子を透して観察すると、両者の明るさの違いが肉眼で確認された（Figure 1d）。円偏光検出セットアップにて左右の円偏光強度を評価したところ、全発光に対する左円偏光の成分は 82%、右円偏光の成分は 18%であった（Figure 1e）。以上の結果より、QRs/EVA 延伸フィルムと$\lambda/4$ 位相差板を組み合わせることにより、円偏光フィルターを通して肉眼で確認できるほど高純度の円偏光を生成できることがわかった。また、左右の円偏光の成分比は、$\lambda/4$ 位相差板を重ねる角度を 45 °から−45 °にすることにより、容易に逆転させられることも確認した（Figure 1f）。本発表では、複数の LPL フィルムを用いた積層型円偏光コンバータについても併せて報告する。

[1] M. Wei, X. Hao, A. B. Saxena, W. Qin*, S. Xie, *J. Phys. Chem. C*, **2018**, *122*, 12566-12571.

[2] W. Qin, H. Xu, B. Hu*, *ACS Photonics*, **2017**, *4*, 2821-2827.

[3] E. Lkhamkhuu, K. Zikihara, H. Katsura, S. Tokutomi*, T. Hosokawa, Y. Usami, M. Ichihashi, J. Yamaguchi, K. Monde*, *Plant Biotech.* **2020**, *37*, 57-67.

[4] Y. Okazaki, N. Ryu, T. Buffeteau, S. Pathan, S. Nagaoka, E. Pouget, S. Nlate, H. Ihara, R. Oda*, *Chem. Commun.*, **2018**, *54*, 10244-10247.

[5] A. Scalabre, Y. Okazaki, B. Kuppan, T. Buffeteau, F. Caroleo, G. Magna, D. Monti, R. Paolesse, M. Stefanelli, S. Nlate, E. Pouget, H. Ihara, D. M. Bassani*, R. Oda*, *Chirality*, **2021**, *33*, 494-505.

[6] T. Goto, Y. Okazaki*, M. Ueki, Y. Kuwahara, M. Takafuji, R. Oda, H. Ihara*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2017**, *56*, 2989-2993.

[7] P. Liu, W. Chen, Y. Okazaki, Y. Battie, L. Brocard, M. Decossas, E. Pouget, P, Muller-Buschbaum, B. Kauffmann, S. Pathan, T. Sagawa*, R. Oda*, *Nano Lett.* **2020**, *20*, 8453-8460.

[8] 岡﨑豊, 木村美咲, 赤瀬川怜, 塚本桂大, 蜂谷寛, 佐川尚,「円偏光素子及びそれを用いた照明装置」, 国立大学法人京都大学, 出願番号:特願 2021-194157.

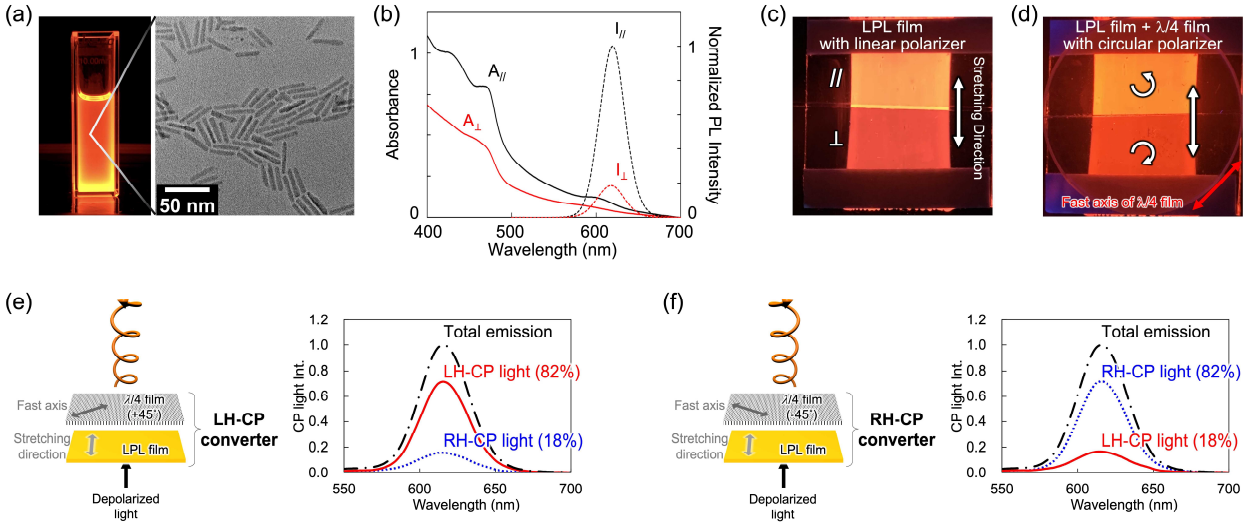

Figure 1 (a) Photo image of QRs toluene suspension under UV light (left) and TEM image of the dried sample (right). (b) Absorption (solid lines) and normalized PL spectra (dotted lines) of QRs/EVA stretched film measured in parallel (//) and perpendicular (⊥) direction to the transmission axis of linear polarizer. Excitation wavelength was 450 nm. Photo images of (c) LPL film under UV light through linear polarizer, and (d) LPL film with quarter-wave plate under UV light through circular polarizer. Illustrations (left) and photoluminescence spectra (right) of (e) LH- and (f) RH-CP converter. Excitation wavelength was 450 nm.