

フォトンブリーディングデバイスに発現する巨大磁気光学効果の理論

Theory of Gigantic Magneto-optical Effect in Photon Breeding Devices

○坂野 斎¹、川添 忠^{2,3}、大津元一³

(1. 山梨大、2. 東京電機大、3. ドレスト光子研究起点)

○Itsuki Banno¹, Tadashi Kawazoe^{2,3}, Motoichi Ohtsu³

(1. Univ. of Yamanashi, 2. Tokyo Denki Univ., 3. Research Origin of Dressed Photon)

E-mail: banno@yamanashi.ac.jp

ドレスト光子 (DP) 援用アニール [1, 2] は間接遷移型半導体から高効率の発光ダイオードを作る手法である。この製作プロセスは、発光してほしい波長の光を照射しながら電流のジュール熱によって不純物の拡散を起こし、発光のために最適化された構造の自律的形成を促す。発光波長の制御を半導体のバンドギャップではなく、プロセス中の照射光で行うことが大きな特徴で、作製されたものはフォトンブリーディングデバイス (PB デバイス) という。DP 援用アニールは直接遷移型半導体にも有効に働き、発光波長の制御、発光の高効率化を実現する。驚くべきことに、PB デバイスは巨大磁気光学効果をも示す。高効率の発光と巨大磁気光学効果は共通の原因を持つと考えられ、メカニズムの究明は物質に内在している DP (分散関係を満たさない電磁場) の働きの解明の試金石である。本発表では、間接遷移型半導体; SiC [2] と直接遷移型半導体; ZnO [3] の PB デバイスに発現した巨大磁気光学効果を非共鳴非線型応答の理論から解析する。

私たちは、スカラーポテンシャルとベクトルポテンシャルのオフシェル成分まで含む電磁場の全自由度を原因とする応答理論を構築してきた [4]。その線型・非線型の感受率には、非共鳴条件下で強調される寄与=非共鳴項があり、ベクトルポテンシャルのみが関われる。従って非共鳴条件下での磁気光学効果の発現は理に適ったものである。SiC, ZnO の磁気光学効果の実験はそれぞれファラデー配置、フォークト配置で行われており、磁場の 1 次、2 次が関与すると考えられる。実際、ZnO の実験では回転角が電流の 1.7 乗程度の依存性があり、磁場の 2 次に比例する光学効果として矛盾はない。そこで、SiC, ZnO の磁気光学効果をそれぞれ 2 次、3 次の非線型感受率の非共鳴項の寄与と考え解析を行い、以下のことがわかった：

1. 2 次、3 次の非線型感受率の非共鳴項には電荷密度・電流密度演算子の交換子 1 つを含む寄与があり、2 準位系では座標と運動量の交換関係を継承した量子効果が 2 つの系に共通して残る。
2. コヒーレントな領域の不純物すべてが互いに遷移可能な基底・励起状態の 2 準位を提供すると仮定し、磁気光学効果を再現するコヒーレント長を見積もると、いずれの系でも $1\mu\text{m}$ 程度となる。
3. 3 次の非線型感受率の非共鳴項の性質から、ZnO のフォークト配置の実験系では電流の方向に対して 45 度の偏光の入射条件で最大の回転が得られることが理論的に導かれる。

謝辞

ドレスト光子研究起点 (RODreP) での数理物理的な議論について次の方々へ感謝いたします：小嶋泉博士 (RODreP)、佐久間弘文博士 (RODreP)、西郷甲矢人博士 (長浜バイオ大学)、岡村和弥博士 (名古屋大学)、安藤浩志博士 (千葉大学)、瀬川悦生博士 (横浜国立大学)。この研究の一部は光科学技術研究振興財団からの援助 (2018-2019) を受けています。

参考文献

- [1] T. Kawazoe, M. A. Mueed, M. Ohtsu, Appl. Phys. B, **104**, 747(2011); T. Kawazoe, M. Ohtsu, K. Akahane, N. Yamamoto, Appl. Phys. B, **107**, 695(2012); M. A. Tran, T. Kawazoe, M. Ohtsu, Appl. Phys. A **115**, 105-111(2014); T. Kawazoe and M. Ohtsu, Appl. Phys. A, **115**, 127-133, (2014); M. Ohtsu, in *Progress in Nanophotonics 4*, eds. by M. Ohtsu and T. Yatsui (Springer, 2017) Chap. 1; M. Ohtsu, in *Progress in Nanophotonics 5*, ed. by T. Yatsui (Springer, 2018) Chap. 1.
- [2] M. Ohtsu, *Silicon Light-Emitting Diodes and Lasers* (Springer International Publishing, Switzerland, 2016).
- [3] N. Tate, T. Kawazoe, W. Nomura, M. Ohtsu, Scientific Reports **5**, 12762(2015).
- [4] I. Banno, <http://arxiv.org/abs/1807.10992>; I. Banno, in *Progress in Nanophotonics 5*, ed. by T. Yatsui (Springer Nature, 2018) Chap. 6.