

MT 対称性をもつ媒質における光非エルミートスキン効果の解析

Analysis on optical non-Hermitian skin effect in MT-symmetric media

¹東工大理, ²NTT NPC, ³NTT 物性基礎研 [○]森竹 勇斗¹, 養田 大騎¹, 高田 健太^{2,3}, 納富 雅也^{1,2,3}

¹Tokyo Tech, ²NTT NPC, ³NTT BRL, [○]Yuto Moritake¹, Taiki Yoda¹, Kenta Takata^{2,3},

and Masaya Notomi^{1,2,3}

E-mail: moritake@phys.titech.ac.jp

近年注目されている、非エルミートなハミルトニアンによって記述される物理系で起こる特異な現象に、非エルミートスキン効果 (NHSE: Non-Hermitian Skin Effect) がある。NHSE は、エルミート系では系全体に広がるバルクモードがすべて端に局在する状態になる、という非エルミート系特有の現象であり、新たな局在状態の形成方法として興味をもたれている[1,2]。我々はこれまで、従来の周期系と異なる一様媒質系で光 NHSE が発現することを報告してきた[3,4]。この系では、解析的な式が得られることから、その局在長や励起を理論的に解析することが可能である。しかし、これまで検討してきたスキンモードは、複素数の固有周波数をもつため、伝播中に有限の増幅・減衰があり、固有モードの直接励起が難しいことがわかってきている。そこで本研究では、MT 対称性をもつ媒質における光 NHSE について調査を行った。MT 対称とは図 1(a)のように、鏡映面で反転した後に複素共役（時間反転）をほどこした系が一致する対称性を指す。このような系では、複素固有値が完全に実になり、減衰も増幅もしないスキンモードが得られることが分かった。

MT 対称な異方的誘電率をもつ系に対して、解析式を用いた計算から、スキンモードの複素固有値が完全に実になることを解析的に示すことができた。また、それを現実の材料系で実現するために、2 層の単位胞からなる多層膜系に有効媒質近似を適用し、どのような誘電率をもった材料系を用いれば MT 対称が満たせるかを解析した。その結果、利得と損失をそれぞれもつ材料を組み合わせることで、MT 対称性が満たせることを見出した。この知見を基に、有効誘電率が $\epsilon_{\parallel} = \epsilon_{\perp}^* \sim 1.67 + 0.97i$ となるような多層膜を設定し、シミュレーションから複素固有値を求めたところ、図 1(b)のように実固有値をもつスキンモードを得た。これらのスキンモードは、全て波数 $0.25 \times 2\pi/1.5(\mu\text{m})$ で上側に進行する右側局在モードである (図 1(c))。この系の場合、右斜め上に進む光は増幅、左斜め上に進む光は減衰し、それらが釣り合うことによって、実スキンモードが得られたと考えられる。実スキンモードはスキンモードの励起・活用において重要であり、本研究の結果は HNSE を用いた光デバイス応用へ寄与するものと考えられる。本研究は、科学研究費補助金 (20H05641, 21K14551) の援助の下に行われた。

[1] S. Yao and Z. Wang, *Phys. Rev. Lett.* 121, 086803 (2018). [2] S. Yao and Z. Wang, *Phys. Rev. Lett.* 121, 136802 (2018). [3] K. Yokomizo, T. Yoda, and S. Murakami, *Phys. Rev. Research* 4, 023089 (2022). [4] T. Yoda, Y. Moritake, K. Takata, K. Yokomizo, S. Murakami, and M. Notomi, arXiv:2303.05185

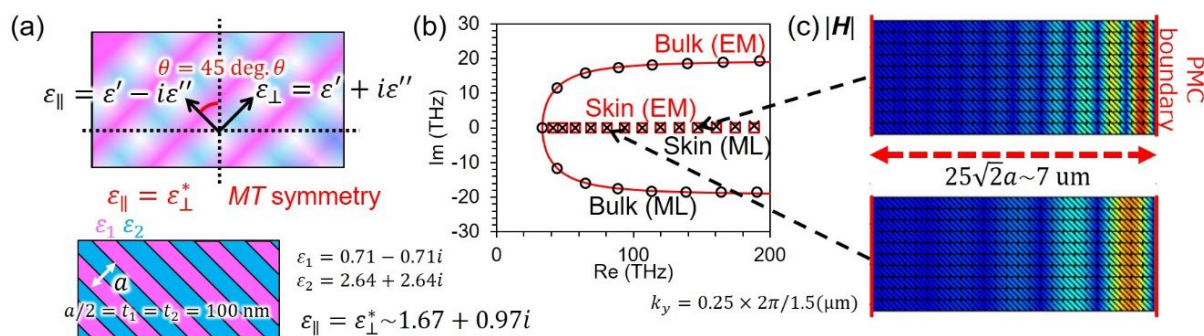


Fig. 1 (a) anisotropic permittivity with MT symmetry. (b) Complex eigenfrequencies for the bulk and skin modes (c) Magnetic field distributions of the skin modes.